

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
HORNICKO – GEOLOGICKÁ FAKULTA
INSTITUT GEODÉZIE A DŮLNÍHO MĚŘICTVÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

3D vizualizace ČEZ Arény v Ostravě na základě fotogrammetrického
zaměření

3D visualization of ČEZ Arena in Ostrava on the basis of photogram-
metric measurement

Vedoucí diplomové práce:	Ing. Roman Kapica, Ph.D.
Studijní obor:	Inženýrská geodézie
Datum zadání:	31.10.2009
Datum odevzdání:	30.4.2010

Ostrava 2010

Bc. Jan Ausficer

Obsah

1	ÚVOD.....	1
1.1	Cíl.....	1
2	FOTOGRAMMETRIE.....	2
2.1	HISTORIE FOTOGRAMMETRIE	2
2.2	OBLASTI VYUŽITÍ FOTOGRAMMETRIE	4
2.3	ROZDĚLENÍ FOTOGRAMMETRIE.....	5
2.4	PRŮSEKOVÁ FOTOGRAMMETRIE	7
3	SOUŘADNICOVÉ SOUSTAVY	10
3.1	SOUŘADNICOVÉ SOUSTAVY V POZEMNÍ FOTOGRAMMETRII	10
3.2	SNÍMKOVÉ ORIENTACE	11
3.2.1	<i>Prvky vnitřní orientace.....</i>	<i>11</i>
3.2.2	<i>Prvky vnější orientace</i>	<i>12</i>
3.3	TRANSFORMACE SOUŘADNIC	12
3.3.1	<i>Transformace souřadnic v rovině.....</i>	<i>13</i>
3.3.2	<i>Transformace souřadnic v prostoru</i>	<i>14</i>
3.4	VZTAHY MEZI SOUŘADNICOVÝMI SOUSTAVAMI	14
4	OPTICKÉ ZÁKLADY FOTOGRAMMETRIE.....	16
4.1	IDEÁLNÍ ZOBRAZENÍ.....	16
4.2	ZOBRAZENÍ OBJEKTIVEM.....	17
4.3	OBJEKTIV	17
4.4	OPTICKÉ VADY OBJEKTIVU	19
5	FOTOGRAMMETRICKÉ KOMORY	23
5.1	NEMĚŘICKÁ FOTOKOMORA OLYMPUS FE-230	23
6	PHOTOMODELER VERZE 6	25
7	KALIBRACE FOTOKOMORY.....	26
7.1	PODMÍNKY PRO ÚSPĚŠNOU KALIBRACI V PROGRAMU PHOTOModeler	26
7.2	KALIBRACE NEMĚŘICKÉ FOTOKOMORY OLYMPUS FE-230	26
7.3	KONTROLA VÝSLEDKŮ KALIBRACE.....	28
7.4	ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ KALIBRACE	29

8	ČEZ ARÉNA	30
8.1	STATUTÁRNÍ MĚSTO OSTRAVA	30
8.2	VÝPIS O OBJEKTU Z KN	31
8.3	POLOHA OBJEKTU – GRAFICKY	32
8.4	INFORMAČNÍ SERVIS PRO NÁVŠTĚVNÍKY	32
9	FOTODOKUMENTACE PROSTOROVÉHO OBJEKTU	37
9.1	ZÁSADY PRO ÚSPĚŠNÉ VYPRACOVÁNÍ FOTODOKUMENTACE	37
9.2	TVORBA FOTODOKUMENTACE OBJEKTU	38
10	GEODETICKÉ ZAMĚŘENÍ OBJEKTU.....	40
10.1	POUŽITÉ PŘÍSTROJE A POMŮCKY	40
10.1.1	<i>Parametry totální stanice Leica TCR 307.....</i>	<i>40</i>
10.2	POSTUP ZAMĚŘENÍ	42
10.2.1	<i>Rekognoskace terénu a příprava měření.....</i>	<i>42</i>
10.2.2	<i>Polohové a výškové zaměření polygonových bodů.....</i>	<i>42</i>
10.2.3	<i>Polohové a výškové zaměření referenčních bodů.....</i>	<i>42</i>
10.3	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ	43
11	TVORBA PROSTOROVÉHO MODELU.....	44
11.1	POSTUP TVORBY MODELU.....	44
11.2	KVALITA MODELU	47
11.3	EXPORT MODELU	48
11.3.1	<i>Export do VRML.....</i>	<i>48</i>
11.3.2	<i>Export do Google Earth.....</i>	<i>49</i>
11.4	INTERNETOVÁ PREZENTACE	50
11.5	POROVNÁNÍ VZDÁLENOSTÍ	50
12	ZÁVĚR.....	52
13	POUŽITÁ LITERATURA	53
14	SEZNAM OBRÁZKŮ	54
15	SEZNAM TABULEK.....	55
16	SEZNAM PŘÍLOH	56

Seznam použitých zkratk

3D – třírozměrný prostor (x,y,z)

A1 – formát papíru 594 x 841 mm

A3 – formát papíru 297 x 420 mm

A4 – formát papíru 210 x 297 mm

AF – autofocus, automatické zaostřování

Blu-Ray – optický disk, určený pro ukládání dat

BMP, DIP, DCX, GIF, IFF, JPEG, PCX, PICT, TGA, TIFF, WMF, WPG – rastrové obrazové formáty

CCD – typ senzoru

CD – kompaktní disk, optické přenosné médium

CD-ROM – počítačová jednotka pro čtení CD

ČEZ – České energetické závody

DMT – digitální model terénu

DKM – digitální katastrální mapa

DVD – digitální optický datový nosič

DXF – vektorový formát souborů

EXIF – specifikace pro formát metadat, vkládaných do souborů digitál.fotoaparáty

GNSS – globální navigační satelitní systém

HDD – pevný disk počítače, slouží k trvalému uchování dat

IE – Internet Explorer (internetový prohlížeč)

ISPRS – Mezinárodní společnost pro fotogrammetrii a dálkový průzkum Země

KML – formát programu Google Earth

LCD – displej s tekutými krystaly

LFGM – laboratoř fotogrammetrie Fakulty stavební, ČVUT

MB – megabyte

MHD – městská hromadná doprava

MHz - megahertz

MNČ – metoda nejmenších čtverců

MPix - megapixel

NTSC - standard kódování barevného obrazu pro TV (Severní a střední Amerika)

NURBS – funkce, která umožňuje modelovat plochy větších rozměrů

OS – operační systém PC

PAL – standard kódování barevného obrazu pro TV (Evropa)

PIX - pixel

RAM – paměť určená k vícenásobnému zápisu i čtení

S-JTSK – systém jednotné trigonometrické sítě katastrální

USB – univerzální směrová sběrnice

VIP – velmi důležitá osoba

VRML – program pro modelování virtuální reality

VŠB-TUO – Vysoká škola báňská – Technická Univerzita Ostrava

WRL – formát souboru VRML

1 Úvod

Fakt, že výpočetní technika je v posledním desetiletí alfou a omegou většiny vědních oborů, je nepopíratelný. Výjimkou není ani obor geodézie a její odvětví fotogrammetrie. Pro fotogrammetrické zaměřování objektů byl nástup digitálních technologií klíčový – proces se stal efektivnějším a zejména byl přiblížen širšímu spektru obyvatelstva. V aktuální době celosvětové ekonomické krize se nároky na úspěšný výsledný produkt mnohem více zpřísnily. Je třeba poskytnout a nabídnout i široké spektrum dalších služeb (např. webové prezentace, informační servis, lokalizace do jiných jazyků apod.).

1.1 Cíl

Cílem diplomové práce je vizualizace objektu v programu PhotoModeler 6 (kanadské firmy EOS Systems Inc.) technologií průsekové fotogrammetrie za použití digitální fotokomory OLYMPUS FE-230. Pro určení kalibračních parametrů byla fotokomora testována pomocí šesti testovacích polí, z nichž bylo pro výsledné zpracování modelu použito to s nejlepším výsledkem. Současně s pořízením snímků proběhlo geodetické zaměření prvků referenčních bodů, na jehož základě bylo provedeno přímé srovnání mezi referenčními body určenými vyhodnocením fotogrammetrickým a geodetickým.

Pro vypracování prostorového modelu včetně webové prezentace byla zvolena ostravská ČEZ ARÉNA.

2 Fotogrammetrie

Fotogrammetrie je věda, způsob a technologie, která se zabývá získáváním dále využitelných měření, map, digitálního modelu terénu a dalších produktů, které lze získat z obrazového, nejčastěji fotografického záznamu [8].

Tradiční fotogrammetrie vychází z fotografického záznamu, který lze provádět klasicky formou analogové světlocitlivé vrstvy (běžná fotografie) nebo od 80.let 20.století digitálně. Druhý způsob je výhodnější – snímek lze libovolně upravit, je k dispozici bezprostředně po vyfotografování, odpadá riziko zkreslení z důvodu deformace filmu, minimální provozní náklady, snadná archivace (CD, DVD, nejnověji Blu-Ray systémy). Udělat z digitální fotografie papírovou je mnohem levnější, méně pracné a rychlejší než naopak.

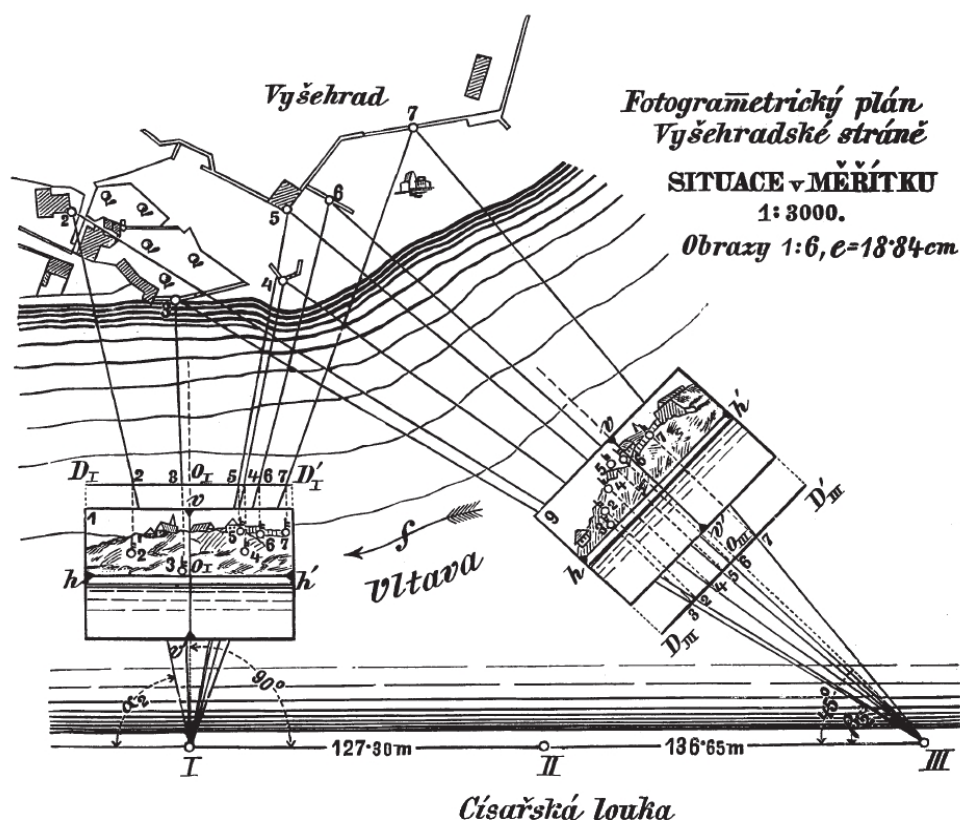
Slovo fotogrammetrie jako první užil Meydenbauer v roce 1858, když propojil tři řecká slova: Fotos – světlo, Gramma – záznam a Metrie – měření. Ve srovnání s klasickými geodetickými metodami je nespornou výhodou fotogrammetrie získaný čas, pořídí se záznam a je poté zpracováván laboratorně.

2.1 Historie fotogrammetrie

Teoretické počátky fotogrammetrie sahají daleko před vynález fotografie. Prvním, kdo uvedl do praxe centrální promítání, které je základní zobrazovací metodou ve fotogrammetrii, byl Leonardo da Vinci (1452 - 1519). Ten popsal a sestrojil *dírkovou komoru*, která umožňovala překreslování pozorovaného předmětu pomocí centrální projekce. Tuto komoru opatřil spojnou čočkou Jan Kepler a byla nazvána *camera clara*.

Vynález fotografie, který reprezentovali J.A.Niepce a J.L.Daguere (1839), dále zdokonalil H.F.Talbot, který jako první zavedl do technologie zpracování *proces negativ - pozitiv* a uskutečnil tak poprvé zhotovení většího počtu stejných fotografií z jednoho negativu. Do té doby byla každá fotografie neopakovatelným originálem. Dva roky po vynálezu fotografie zkonstruoval slovenský vědec prof. J.M.Petzval první moderní objektiv a zavedl do geometrické optiky exaktní výpočetní metody, čímž významně přispěl, mimo jiné, i k rozvoji fotogrammetrie.

Za zakladatele fotogrammetrie se pokládá Francouz A.Laussedat, který krátce po vynálezu fotografie začal fotografické snímky využívat pro měřické účely. První fototeodolit zkonstruoval mechanik Brunner podle jeho návrhu v roce 1859. Praktické využití fotogrammetrie za pomoci fotografie bylo poprvé využito při mapování ve Francii (1861). U nás proběhlo úvodní fotogrammetrické měření v roce 1862 po návratu profesora pražské techniky Dr.K.Kořistky ze studijní cesty ve Francii, kde navštívil A.Laussedata. Ze dvou stanovisek, na Hradčanech a Petříně, zhotovil fotografické snímky a průsekovou metodou určil polohu věží a jiných významných bodů na území Prahy (obr. 1).



Obr. 1 Fotogrammetrický plán Vyšehradské stráně [1]

Průseková fotogrammetrie byla v mnoha ohledech nepraktická. Uplatněním jednoduchého principu stereoskopie za začátku 20. století byly mnohé z problémů průsekové metody rázem odstraněny. Průkopníkem stereofotogrammetrie byl Dr.C.Pulfrich, který v roce 1901 zkonstruoval první přístroj na stereoskopické měření snímkových souřadnic *stereokomparátor*. Tento přístroj položil základy složitějším přístrojům pro analogové (opticko-mechanické) vyhodnocování.

S fenoménem létání se současně začala rozvíjet i letecká fotogrammetrie. První snímky ze vzduchu pořídil Francouz Nadar už v roce 1858. Velký rozmach zaznamenala letecká fotogrammetrie během první světové války pro účely sledovací a interpretační. Nastal velmi rychlý vývoj fotogrammetrických kamer i vyhodnocovacích přístrojů.

U nás se první letecké stereofotogrammetrické mapování uskutečnilo v roce 1921 na území města Trutnova.

Kolem roku 1960 vznikly první elektronické korelační systémy, které umožňovaly částečné automatické vyhodnocení („stereomaty“) [8]. S rozvojem výpočetní techniky se začalo přecházet na analytické metody. Ty byly známy již dříve, ale nebyly z důvodu velké početní náročnosti používány. Princip analytického stroje na základě řešení přímého vztahu mezi snímkovými a geodetickými souřadnicemi byl patentován finským fotogrammetrem Dr. Uki Helavou již v roce 1957. Úspěšná konstrukce přístroje, schopného vyhodnocovat touto metodou, byla realizována až o dvacet let později. Základem analytického stroje je stereokomparátor s motorickým pohybem snímků, digitální odečítání polohy ovládacích prvků a výkonný počítač s obslužným programem. Analytické přístroje se velmi rychle začaly vyvíjet po roce 1980, kdy výpočetní technika dosáhla použitelných rychlostí zpracování a dostatečné kapacity uchovávání naměřených dat [1]. Raketový vývoj počítačových technologií koncem 80. let umožnil vznik prvních digitálních systémů a objevila se nová oblast, která přinesla skutečně revoluční změnu - *digitální fotogrammetrie*. Následovala družicová fotogrammetrie a technologie laserového skenování, která ve spojení s digitální fotogrammetrií přinesla zcela nový pohled na 3D dokumentaci objektů.

2.2 Oblasti využití fotogrammetrie

Fotogrammetrie obecně snižuje čas pro sběr informací i pro jejich zpracování. V oboru geodézie a kartografie lze při mapování ve středních a velkých měřítkách metodou fotogrammetrickou získat velmi výrazné finanční a časové úspory oproti klasickým geodetickým metodám. V případě mapování nepřístupných či odlehlých míst nelze dokonce jinou metodu ani použít.

Uplatnění však můžeme hledat i v jiných oblastech lidské činnosti, např.

- ✓ stavebnictví - dokumentační účely, podklady pro rekonstrukce, měření deformací staveb a jejich částí
- ✓ památková péče - dokumentace objektů
- ✓ sledování postupu výstavby nebo těžby surovin, inventarizace skládek
- ✓ zemědělství - sledování osevních plánů, sklony a expozice svahů
- ✓ lesnictví - porostové mapy, postup těžby, kalamity
- ✓ vodní hospodářství - určování digitálního modelu terénu, modelování povodí, rozsah záplav
- ✓ strojírenství - proměřování výrobků přesného strojírenství, sledování přesnosti montáže velkých dílů, např. při stavbě lodí
- ✓ medicína - vrstevnicové plány, dokumentace, sledování rehabilitačních výsledků, plastická chirurgie, zubní aplikace, pohybové studie
- ✓ ergonomie, antropologie
- ✓ policie - kriminalistika, dokumentace těžkých dopravních nehod
- ✓ ekologie - sledování skládek, znečištění
- ✓ urbanismus, 3D modely měst
- ✓ design, určování a modelování tvarů [8].

2.3 Rozdělení fotogrammetrie

Fotogrammetrie se postupným vývojem, který byl blíže popsán v kapitole 2.1, rozdělila na různé typy podle polohy stanoviska snímání, počtu a konfigurace vyhodnocených snímků, způsobu zpracování snímků a typu výstupu [8].

Podle polohy stanoviska:

- **pozemní fotogrammetrie** – stanovisko je zpravidla nepohyblivé, umístěné na zemském povrchu. Náročnost na technické i fotografické vybavení je mnohem menší než u fotogrammetrie letecké. Při snímání je dostatek času určit souřadnice stanoviska a prostorovou orientaci snímku. Nevýhodou je, že jednotlivé předměty jsou vzájemně překrývány. Je vhodná pro fasády domů, stěny lomů, skály apod.

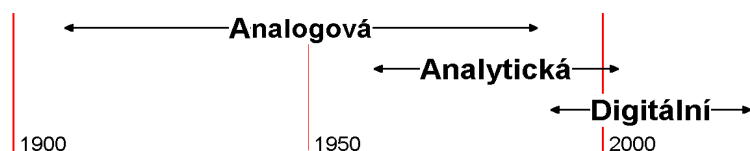
- **letecká fotogrammetrie** – stanovisko pro pořízení snímku je umístěné v letadle nebo v jiném pohyblivém se dopravním prostředku. Oproti pozemní fotogrammetrii se zobrazí značně větší plocha. Naopak nelze zpravidla dostatečně přesně určit prostorovou polohu snímku v okamžiku jeho pořízení, v dnešní době jsou určovány prvky vnější orientace snímků při letu pomocí metody GNSS.
- **družicová fotogrammetrie** – vhodná pro méně přesnou dokumentaci velmi rozsáhlých území, zařízení je umístěno na družici na oběžné dráze Země.

Podle počtu vyhodnocovaných snímků:

- **jednosnímková fotogrammetrie** – využívá se pouze samostatných měřicích snímků. Lze určit pouze rovinné souřadnice, použití je možné, je-li předmět měření rovinný, případně blízký rovině.
- **vícesnímková fotogrammetrie** – slouží pro 3D zpracování a vyžaduje vždy nejméně dva vzájemně se překrývající se snímky. Předmět měření musí být současně zobrazen na obou snímcích. Rozeznáváme stereofotogrammetrii (práce se 2 snímky, osy záběru snímků jsou přibližně rovnoběžné) a průsekovou fotogrammetrii (práce se 2 a více snímky, osy záběru jsou konvergentní).

Podle způsobu zpracování snímků:

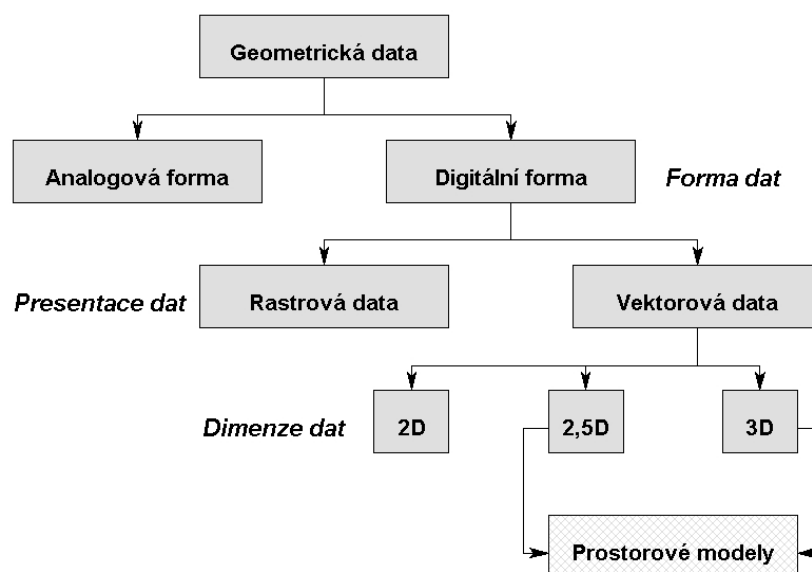
- **metody analogové** – mechanicky, opticky nebo kombinací obou možností se vytváří analogický stav jako při vlastním snímání, k vyhodnocení slouží složité jednoúčelové analogické stroje.
- **metody analytické** – pro převod snímkových souřadnic do geodetického systému využívají prostorovou transformaci, která se řeší na počítači.
- **metody digitální** – podobně jako u analytické metody se užívá prostorová transformace, která se řeší na počítači. Rozdílné je odečítání snímkových souřadnic, které probíhá na obrazovce.



Obr. 2 Vývoj vyhodnocovacích metod v čase [2]

Podle typu výstupu:

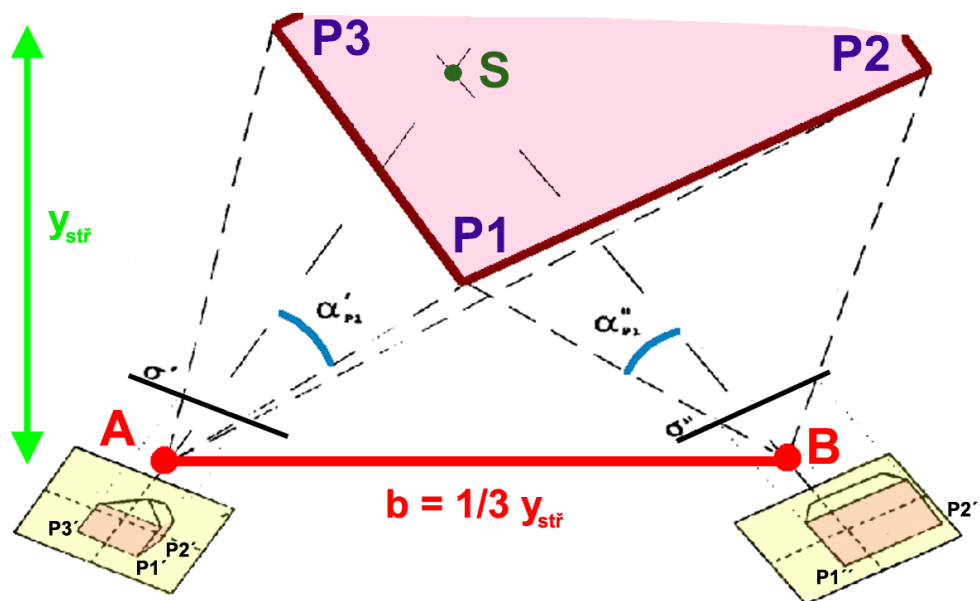
- **grafické (analogová forma)** – výsledek vyhodnocení je přímo graficky vyznačen na kreslícím stole, připojeném k vyhodnocovacímu stroji. Výsledek nelze dále přímo zpracovávat výpočetní technikou, je tedy značně nevýhodný.
- **číselné (digitální forma)** – souřadnice jednotlivých bodů se automaticky registrují do paměti počítače či jiné paměťové médium. Výsledný soubor v podobě vektorové či rastrové lze dále zpracovávat.



Obr. 3 Znázornění výstupních dat [2]

2.4 Průseková fotogrammetrie

Průseková fotogrammetrie patří mezi vícesnímkové metody. Je jednou z nejstarších fotogrammetrických metod, jedná se vlastně o protínání vpřed pomocí měřických snímků (obr. 4). „Renesance“ metody se udála s nástupem digitálních technologií.



Obr. 4 Princip průsekové fotogrammetrie [4]

Vztahy pro výpočet prostorové polohy bodů [8]:

- vodorovné úhly sevřené promítacími paprsky bodu s osou záběru

$$\operatorname{tg} \alpha' = \frac{x'}{f}$$

- svislé úhly

$$\operatorname{tg} \beta' = \frac{z'}{\sqrt{f^2 + x'^2}} = \frac{z'}{f} \cos \alpha',$$

kde x' , z' jsou snímkové souřadnice měřeného bodu a f konstanta fotokomory. Nadmořské výšky jsou určovány trigonometricky.

V dřívějších dobách bylo pro vyhodnocení nutné znát délku základny, přesné pozice jednotlivých stanovišek a jejich orientace. Tyto atributy byly určovány geodeticky. Dnes se již běžně využívají digitální fotografické přístroje a vhodný počítačový software, který tyto hodnoty vypočte při iteraci.

V průsekové fotogrammetrii je vhodné snímky pro zpracování pořídit z dostatečně velké základny, musí být konvergentní s vhodným úhlem protnutí (nejlépe 90°). Prostorové vyhodnocení je možné již ze dvou snímků, v této variantě chybí možnost kontroly a vyrovnání (poloha určovaných bodů se zpřesní), tudíž je výhodnější zpracování ze tří a více snímků.

Vlčovací body na objektu mohou být signalizovány přirozeně (rohy, okna, přechody kontrastu) nebo uměle (např. terčíky ze samolepících reflexních materiálů). Pro diplomovou práci byly zvoleny vlčovací body přirozené. Umělé nebylo možné technologicky umístit z důvodu rozlehlosti objektu, navíc majitel si to nepřál. Vlčovací body umožňují definovat souřadnicový systém, měřítko, rotaci nebo stanovit přesnost projektu. Pro diplomovou práci bylo použito 25 vlčvacích (referenčních) bodů, jejich rozmístění na objektu naleznete v příloze č.3.

Mezi komplexní systémy pro průsekovou fotogrammetrii patří např. Rollei-Metric CDW, samostatný software reprezentuje např. PhotoModeler.

Tato metoda byla zejména z důvodu přesnosti a finanční nenáročnosti použita pro vlastní zpracování prostorového modelu ČEZ ARÉNY v Ostravě.

3 Souřadnicové soustavy

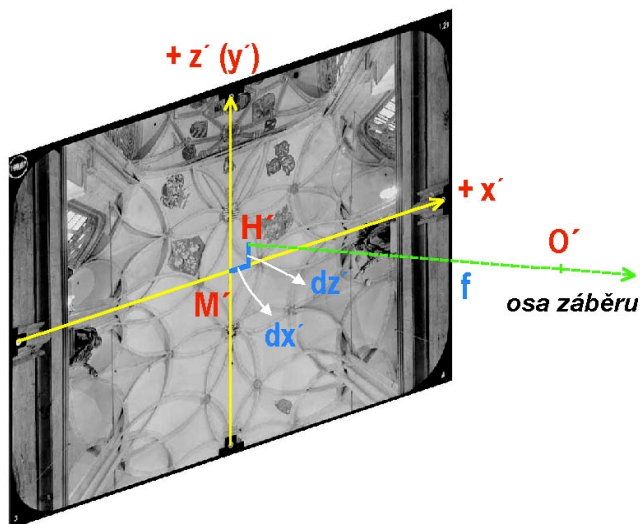
Pro zpracování fotogrammetrických úloh jsou základem vztahy mezi souřadnicovými systémy, transformace souřadnic snímkových na geodetické a snímkové orientace.

3.1 Souřadnicové soustavy v pozemní fotogrammetrii

V pozemní fotogrammetrii obecně využíváme dva typy souřadnicových systémů. Klíčovým úkolem je řešení transformace mezi nimi.

K *hlavním souřadnicovým systémům* řadíme systém snímkových souřadnic, systém modelových souřadnic a systém geodetických souřadnic. Do *pomocných souřadnicových systémů* patří systém fiktivních snímkových souřadnic.

Systém snímkových souřadnic (x' , z') je charakterizován 2D souřadnicemi v rovině snímku x' , z' ($y'=-f$) na levém snímku, x'' , z'' ($y''=-f$) na pravém snímku, pokud hovoříme o tradičním pojmenování os, v případě obecném jsou osy y a z zaměněny.



Obr. 5 Schéma snímkových souřadnic [4]

Systém modelových souřadnic (x , y , z) je soustavou modelu, kdy osy a jejich směr i orientace se volí dle doporučení ISPRS nebo přibližně stejně s výsledným geodetickým souřadnicovým systémem. Souřadnice x_0 , y_0 a z_0 jsou souřadnice středu promítání levého snímku [8].

Systém geodetických souřadnic (X, Y, Z) - jde o výslednou souřadnicovou soustavu objektu – geodetický systém. Souřadnice X_0, Y_0, Z_0 jsou střed promítání levého snímku.

Systém fiktivních souřadnic (x_F', y_F', z_F') slouží jako pomocná soustava při převodu ze soustavy snímkových souřadnic.

3.2 Snímkové orientace

Orientace snímků je klíčovým prvkem jakéhokoliv fotogrammetrického projektu, protože určení prostorových souřadnic bodu ze snímkových souřadnic vyžaduje znalost orientace snímků. Prvky vnější orientace definují polohu středu promítání vůči rovině snímku. Prvky vnitřní orientace pak prostorovou orientaci snímku vůči dané souřadnicové soustavě.

3.2.1 Prvky vnitřní orientace

Definují geometrii paprsků uvnitř komory. Patří sem souřadnice hlavního snímkového bodu, konstanta komory a znalost průběhu radiální distorze.

Hlavní bod snímku H'

Je to pata kolmice spuštěná ze středu promítání na snímkovou rovinu. Obecně padne H mimo střed snímkových souřadnic M' , proto jsou souřadnice každého bodu zatíženy chybou a je třeba ji určit (dx', dz').

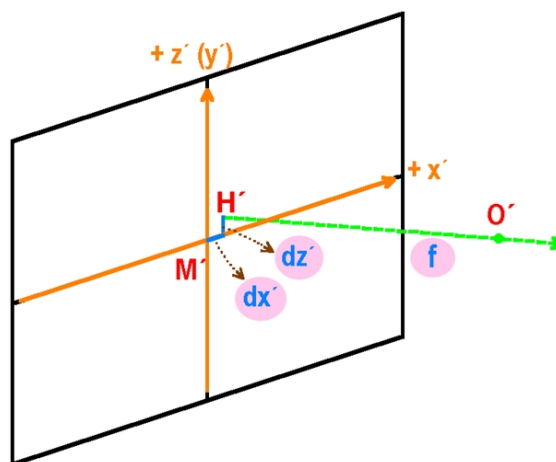
Konstanta komory f

Konstanta komory f je kolmá vzdálenost středu centrální projekce od roviny snímku, při zaostření objektivu na nekonečno je při správně rektifikované komoře konstanta komory shodná s ohniskovou vzdáleností objektivu.

Distorze objektivu

Je způsobena nerovností úhlů v předmětové a obrazové části objektivu (porušení principu centrální projekce), ovlivňuje velikost snímkových souřadnic, velikost zkreslení není po celé ploše snímku stejná: u středu je zanedbatelné, směrem k okrajům se zvětšuje a měřítko snímku je proměnlivé.

Distorze má dvě složky – radiální a tangenciální, která je tak malá, že ji můžeme zanedbat.



Obr. 6 Definice prvků vnitřní orientace [4]

3.2.2 Prvky vnější orientace

Definují polohu a orientaci snímku v prostoru vzhledem k danému (geodetickému) systému souřadnic v okamžiku pořízení. Parametry se určují geodetickými metodami. Jedná se o těchto šest prvků na každé fotografii - souřadnice středu vstupní pupily – X_0 , Y_0 , Z_0 a úhly rotace osy záběru - φ , ω , χ . Jsou dodatečně určovány při zpracování.

Úhel stočení φ je úhel, který svírá osa objektivu s kolmicí na fotogrammetrickou základnu (normální případ, stočený případ, konvergentní případ viz např. program PhotoModeler, který byl použit v této diplomové práci). Úhel sklonu ω je úhel, který svírá osa objektivu s vodorovnou rovinou. Úhel pootočení χ je úhel, který svírá spojnice rámových značek s vodorovnou rovinou.

3.3 Transformace souřadnic

Ve fotogrammetrii se užívá celé řady postupů transformací mezi jednotlivými soustavami souřadnic. Obecně je můžeme dělit na transformace v rovině a v prostoru.

3.3.1 Transformace souřadnic v rovině

Patří sem transformace shodnostní, podobnostní, afinní, polynomičká, bilineární a kolineární. Blíže si popíšeme jen ty základní.

- Podobnostní transformace - slouží pro vzájemné zobrazení mezi dvěma kartézskými rovinnými souřadnicovými systémy (x, y a X, Y), je to čtyřparametrová rovinná transformace, která obsahuje dva posuny, jedno otočení a celkovou změnu měřítka. Je konformní a ekvidistantní, tudíž nezkrsluje úhly ani délky. Pro výpočet 4 parametrů je potřeba znát minimálně 2 identické body, při použití více bodů je nutnost provést vyrovnání. Využívá se při převodu zaměřených vlícovacích bodů z místní soustavy do referenční soustavy [8].



Obr. 7 Podobnostní transformace

- Afinní transformace - má 6 parametrů (úhel pootočení, dva posuny, dva měřítkové koeficienty a parametr – úhel popisující kosost – nekolmost os [3]. Ve fotogrammetrii se využívá při transformaci na „rámové značky“. Pro výpočet je potřeba znát minimálně 3 identické body, je-li bodů více, použije se opět vyrovnání.



Obr. 8 Afinní transformace

- Kolineární (projektivní) transformace - popisuje středové zobrazení (promítání) dvou rovinných souřadnicových systémů. Všechny projekční paprsky jsou přímé a procházejí jedním společným bodem, který je střed promítání [8]. Má 8 parametrů, pro jejichž určení je nutno znát alespoň 4 identické body, z nichž 3 nesmí ležet na přímce. Ve fotogrammetrii hraje výraznou roli, neboť fotografie jsou prakticky průměty snímkaných objektů.



Obr. 9 Kolineární transformace

3.3.2 Transformace souřadnic v prostoru

Prostorové transformace mezi souřadnicovými systémy jsou základem při převodu modelových souřadnic do systému geodetického [3]. Využívá se např. při absolutní orientaci modelu či slučování několika měřených 3D souborů.

3.4 Vztahy mezi souřadnicovými soustavami

V dnešní době digitální fotogrammetrie se používá přímý převod souřadnic snímkových na geodetické: $x', y', z' \Rightarrow X, Y, Z$. Dříve byly vloženy dva mezikroky, a to na souřadnice fiktivní x'_F, y'_F, z'_F a modelové x, y, z .

Základní podmínkou transformace je kolineace – vztah mezi snímkovými a geodetickými souřadnicemi, kdy bod na objektu, bod na snímku a střed promítání leží v jedné přímce. Pak můžeme snímky považovat za středovou projekci. Definice kolineárního vztahu pro transformaci obou systémů:

$$\frac{x' - x'_0}{-f} = \frac{x - x_0}{z - z_0}, \quad \frac{y' - y'_0}{-f} = \frac{y - y_0}{z - z_0}$$

Modelové souřadnice lze převést rotacemi kolem souřadnicových os x, y a z na geodetické. Nejprve postupnou rotací o úhly ω , φ a κ (prvky vnější orientace) odvodíme matici rotace R:

$$R_{\omega} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \omega & -\sin \omega \\ 0 & \sin \omega & \cos \omega \end{pmatrix} \quad R_{\varphi} = \begin{pmatrix} \cos \varphi & 0 & \sin \varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \varphi & 0 & \cos \varphi \end{pmatrix} \quad R_{\kappa} = \begin{pmatrix} \cos \kappa & -\sin \kappa & 0 \\ \sin \kappa & \cos \kappa & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$R = R_{\omega} \cdot R_{\varphi} \cdot R_{\kappa}$$

$$R = \begin{pmatrix} \cos \varphi \cos \kappa & -\cos \varphi \sin \kappa & \sin \varphi \\ \cos \omega \sin \kappa + \sin \omega \sin \varphi \cos \kappa & \cos \omega \cos \kappa - \sin \omega \sin \varphi \sin \kappa & -\sin \omega \cos \varphi \\ \sin \omega \sin \kappa - \cos \omega \sin \varphi \cos \kappa & \sin \omega \cos \kappa - \cos \omega \sin \varphi \sin \kappa & \cos \omega \cos \varphi \end{pmatrix}$$

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{pmatrix}$$

Poté pomocí této rotační matice R převedeme souřadnice na geodetické:

$$X = R \cdot x$$

$$\begin{pmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ z - z_0 \end{pmatrix}$$

Dosazením do kolimačního vztahu dostáváme dvě rovnice, které jsou základem moderní fotogrammetrie:

$$x' = x'_0 - f \frac{r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)}$$

$$y' = y'_0 - f \frac{r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)}$$

Tyto rovnice ukazují, že pro rekonstrukci prostorového objektu je potřeba jeho zobrazení na minimálně dvou snímcích.

4 Optické základy fotogrammetrie

Rozlišujeme teoretickou a praktickou část pohledu. V té *teoretické*, která pojednává o optickém zobrazení idealizovaného objektivu („tenká“ čočka), je fotografický snímek přesným středovým průmětem neboli centrální projekcí fotografovaného objektu. Každému bodu předmětu by měl přesně odpovídat bod ve středové rovině a paprsky vedené mezi obrazem a bodem se protínají v jednom bodě – středu promítání O (obr. 10).

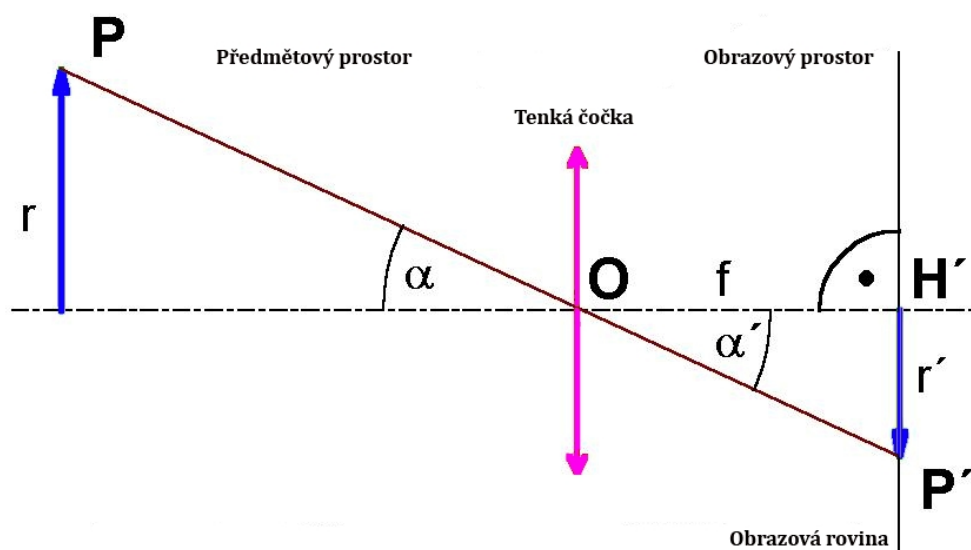
V *praxi* musíme převést centrální projekci na ortogonální. Aby bylo možno tuto úlohu řešit, je třeba přesně definovat elementární prvky centrální projekce, tato definice spolu s dalšími parametry tvoří tzv. prvky vnitřní orientace měřické komory.

4.1 Ideální zobrazení

Nejlepším přiblížením centrální projekce je dírková komora, jejíž princip byl znám a užíván již za období renesance [8]. Použití se příliš nerozšířilo z důvodu velmi malé světelnosti. Neobsahuje objektiv, předmětové i obrazové úhly jsou si rovny a platí základní vztahy:

$$\alpha = \alpha'$$

$$r' = f \cdot \operatorname{tg} \alpha$$



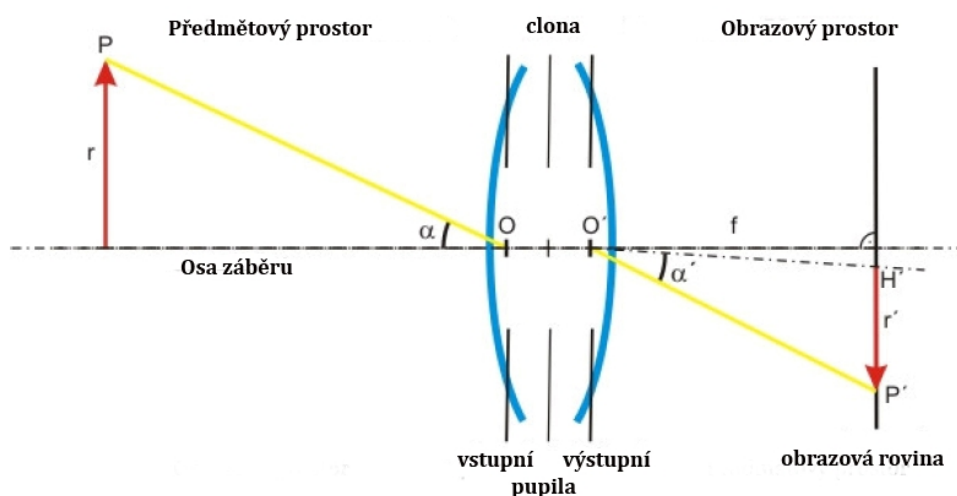
Obr. 10 Ideální středové promítání

4.2 Zobrazení objektivem

Objektiv se skládá z řady optických členů, jeho konstrukce musí být zhotovena tak, aby byly na minimum omezeny optické vady. Fotografický obraz se vytváří proudem paprsků. K regulaci a vyloučení okrajových paprsků, které jsou nejvíce zatíženy chybami, slouží clona.

Obraz clony je tvořen všemi částmi optické soustavy - pokud se nachází před clonou, nazýváme jej *vstupní pupila* - její střed O určí polohu kamery v prostoru. V případě, že se nachází za clonou, je to *pupila výstupní* - její střed O' definuje konstantu komory f (vzdálenost mezi O' a H' , kde H' je hlavní snímkový bod definovaný jako průsečík osy záběru s rovinou snímku).

Osa záběru u optického zobrazení je dána paprskem, který prochází středem vstupní pupily a je kolmý na obrazovou rovinu. Pro zobrazení objektivem se používá základní vztah $r' = f \cdot \tan \alpha + \Delta r'$, kde $\Delta r'$ - distorze objektivu.



Obr. 11 Zobrazení objektivem

4.3 Objektiv

Objektiv je soustava přesně uspořádaných a uložených optických čoček, vytvářející opticky změněný obraz, který se obvykle ještě dále zpracovává (záznamem, okulárem apod.). Používá se k soustředění světla na senzor nebo na film. Mezi objektivy fotoaparátu, kamery, dalekohledu, mikroskopu a dalších optických zařízení není v principu rozdíl, liší se ale svou konstrukcí. Tvar, počet a uspo-

řádání čoček se počítá na základě zadání těchto parametrů: ohnisková vzdálenost, světelnost a minimální vzdálenost zaostření.

Objektivy pro fotogrammetrické účely by měly být světelné, s malými zobrazovacími vadami (důležitá je zejména minimální distorze – zkreslení obrazu, které vzniká při zobrazování rovinných útvarů, když příčné zvětšení není konstantní).

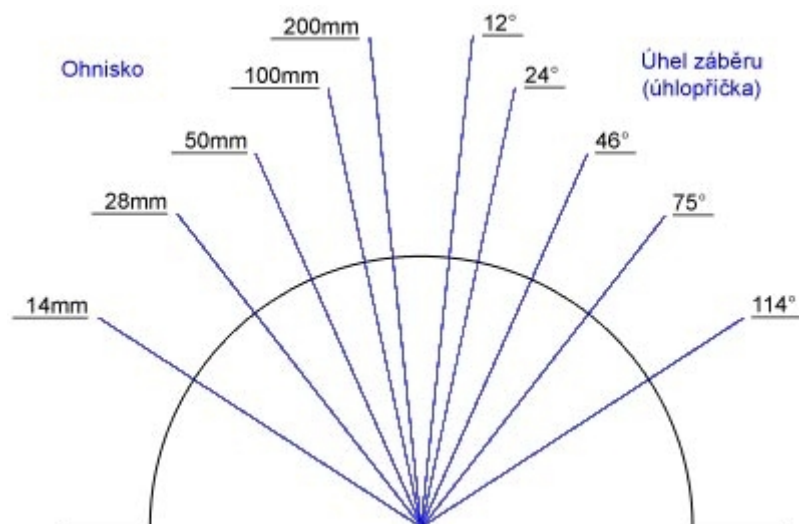
Výměnné objektivy, které se používají ve fotogrammetrii nejvíce, tvoří tyto části:

- ✓ bajonet
- ✓ tubus
- ✓ soustava čoček
- ✓ clona
- ✓ ostřicí mechanismus
- ✓ elektronika, další doplňky a součásti

Z hlediska ohniskové vzdálenosti lze rozdělit objektivy na:

- *Rybí oka* (8 mm) – extrémně širokoúhlé objektivy s úmyslnou deformací perspektivy
- *Širokoúhlé* (10-30 mm) – interiéry, architektura, krajina, reportáž
- *Střední ohniska* (30-100 mm) – základní objektivy, přirozené zobrazení, portrét
- *Normální objektiv* (50 mm) - odpovídá zornému úhlu lidského oka
- *Teleobjektivy* (100-300 mm) – portrét, reportáž, krajina
- *Silné teleobjektivy* (>300 mm) – příroda, sport
- *Makroobjektivy* – měřítko 1:1, liší se minimální zaostřovací vzdáleností, Tilt-Shift – architektura (korekce sbíhání linií - „flašky“)
- *Mirror* – silné teleobjektivy (600 mm) konstruované na principu hvězdářského dalekohledu.

Pravidlo mezi zorným úhlem objektivu a jeho ohniskovou vzdáleností je dáno nepřímou úměrností, tj. čím větší ohnisko, tím menší zorný úhel (obr. 12).



Obr. 12 Vztah ohniskové vzdálenosti a zorného úhlu objektivu

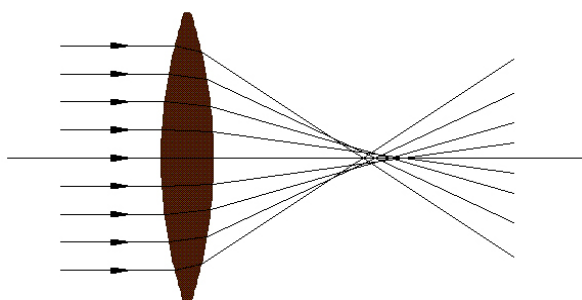
Pro účely této diplomové práce byl použit objektiv zabudovaný v digitálním fotoaparátu OLYMPUS FE-230 s objektivem proměnné ohniskové vzdálenosti 38-114 mm.

4.4 Optické vady objektivu

Jsou to odchylky skutečného zobrazení od ideálního zobrazení. Odchylky jinak též nazýváme *aberrace*, jejich velikost je dána samotnými vadami použitých optických členů. Na přesnost určení snímkových souřadnic mají velký vliv.

Sférická vada (kulová, otvorová)

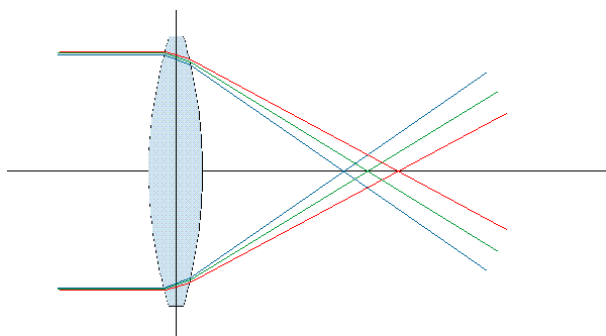
Tato vada je způsobena tím, že paprsky na krajích čočky se lámou víc než ty kolem středu, tudíž nejsou zaostřeny na plochu filmu, ale kousek blíž. Na obrazu se to projeví máznutím, neostrostí. Nejchoulostivější jsou tlusté čočky u krátkých ohnisek a hodně světelné objektivy. Vada lze odstranit zacloněním.



Obr. 13 Sférická vada

Chromatická vada (barevná)

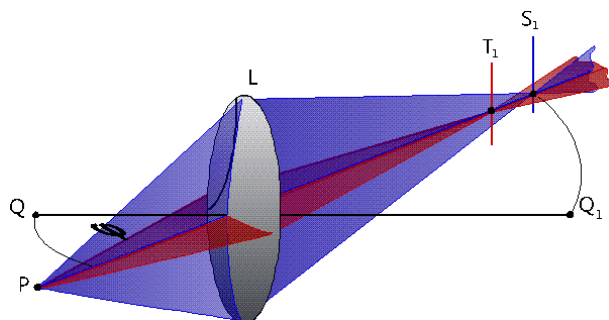
Barevná vada je důsledkem rozdílného indexu lomu jednotlivých barev ve spektru, takže dochází vlastně k ohniskové diferenci. Nejvíce se projeví na ostrých kontrastních hranách, které se zobrazí rozmazané a v barevném spektru. Největší rozdíl v indexu lomu je mezi barvami z opačných konců spektra (červená-fialová), ty pak ohraničují obraz. Velké nebezpečí hrozí od paprsků vlnových délek, pro které není objektiv korigován. Stává se to u infračerveného nebo ultrafialového záření, při jehož velkém obsahu může dojít ke značnému rozostření. Barevná vada se koriguje (zvláště u teleobjektivů, kde se paprsky promítají pod malým úhlem) použitím optických členů vyrobených ze speciálních skel a kombinací různých druhů skel o různém indexu lomu (sklo korunové - má malý rozptyl, flintové - velký rozptyl atd.)



Obr. 14 Chromatická vada

Astigmatismus

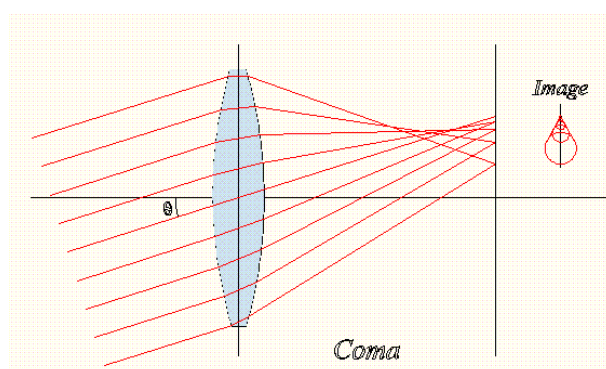
Astigmatismus způsobují šikmé paprsky, které se lámou jinak než kolmé. Body mimo střed se zobrazují jako elipsy nebo úsečky a ke krajům se prodlužují. Při přeostrňování se zase začínou protahovat kolmo na předchozí. Ostrost vodorovných nebo svislých linií může klamat, protože při určitém zaostření se úsečky vzájemně překrývají. Vada se při konstrukci objektivu odstraňuje vhodnou kombinací čoček. Zmírňuje se rovněž zacloněním.



Obr. 15 Astigmatismus

Koma (asymetrická vada)

Tato vada je způsobena velmi šikmými paprsky procházejícími blízko u okraje čočky, které se lámou značně nepravidelně. Jimi vytvořený obraz předmětu je jinak velký než který vytváří paprsky ze středu objektivu, čímž vzniká složitý útvar podobný kometě s chvostem ubíhajícím ke kraji. Při stavbě objektivu se vada odstraňuje vhodným umístěním roviny clony, jinak pak zacloněním.



Obr. 16 Koma

Distorze (zkreslení)

Jinak také zvané zhroucení kresby je patrné směrem ke krajům. Dochází k němu vlivem různě velkého zvětšení předmětu ve středu a na okraji obrazu. Podle toho, jak se deformuje fotografovaný čtverec, rozlišujeme tyto typy zkreslení:

- soudkovité
- poduškovité
- vlnovité (kombinací soudkovitého a poduškovitého)

O typu rozhoduje umístění clony (před spojkou, před rozptylkou). Zkreslením trpí nejvíce širokoúhlé objektivy a zoomy, zvláště s velkým rozsahem, které

mívají u krátkých f soudkovité a u dlouhých f poduškovité zkreslení. Nezmění se zacloněním.

Další vady

- difrakční vada (ohybová)
- zklenutí pole
- vinětace
- reflexy
- absorpce světla

5 Fotogrammetrické komory

Pracují na podobném principu jako běžné fotoaparáty, s tím rozdílem, že na fotogrammetrické komory jsou kladeny mnohem vysoké nároky na přesnost zobrazení.

I přes nástup digitálních komor zůstalo klasické rozdělení zachováno a to na komory měřické, semiměřické (Réseau) a neměřické.

Měřické komory jsou takové komory, u kterých známe přesně prvky vnitřní orientace (jsou stabilní, vysoce přesné).

Réseau komory jsou původní kvalitní neměřické komory, které mají před rovinou filmu umístěnou skleněnou planoparalelní destičku s referenční mřížkou a u kterých jsou známy prvky vnitřní orientace a distorze objektivu. Mřížka je tvořena přesnou pravoúhlou sítí křížků, vzdálených od sebe o konstantní rozměr. Svou podobou s běžnými fotografickými komorami a velikostí radiální distorze jsou někdy nazývány jako semiměřické [8]. Pro účely dokumentací historických objektů hrají v kombinaci s digitálním fotoaparátem či měřickou komorou hlavní roli.

Neměřické komory jsou klasické a digitální fotoaparáty. Lze je použít s omezenou přesností, úloha je řešitelná v případě dostatečného počtu vlíčovacích bodů, prvky vnitřní orientace jsou nestabilní, tudíž je nutné před provedením měření provést kalibraci fotokomory.

5.1 Neměřická fotokomora Olympus FE-230

Pro diplomovou práci byla použita neměřická fotokomora Olympus-FE 230 (obr. 17). Podrobné parametry komory popisuje tab.č.1 [4, 5].



Obr. 17 Olympus FE-230

Tab.č.1 Podrobné parametry fotokomory Olympus FE-230

Typ snímacího prvku	CCD
Úhlopříčka snímacího prvku	1/2,5"
Citlivost snímacího prvku ekv. ISO	50-1250
Max. rozlišení	3072 x 2304 bodů, 7MPiX
Dostupná rozlišení (v bodech)	2048 x 1536 a 640 x 480
Max. rozlišení videoobrazu	640 x 480 bodů
Komprimovaný formát	JPEG
Formát videa	QuickTime Motion JPEG
Typ objektivu	AF / optický zoom
Rozsah zoomu	3x
Minimální ohnisko	38 mm
Maximální ohnisko	114 mm
Možnost předsádky	ne
Rozsah digitálního zoomu	4x
Světelnost objektivu	F3,1 - 5,9
Expoziční rozsah:	1/2000s - 1/2s
Kompenzace expozice	+/- 2EV po 1/3EV
Typ autofokusu	pasivní
Režimy ostření	automatické
Min. vzdálenost pro ostření	60 cm
Min. vzdálenost pro makro	5 cm
LCD displej	6,3 cm (2,5") TFT
Stavový displej	ne
Paměťové médium	xD; interní paměť
Komunikační rozhraní	USB 2.0
Video výstup (TV)	ano - PAL/NTSC
Vestavěný blesk	ano
Režimy vestavěného blesku	4 režimy
Rozsah záblesku	0,2m – 4,0m (W) / 0,5m – 2,5m (T)
Připojení externího blesku	ne
Definice bílé barvy	automatická; 5 předef. režimů
Samospoušť	ano
Materiál těla	kombinovaný plast/kov
Napájení	speciální akumulátor Li-Ion
Rozměry (š x h x v):	90 mm x 16 mm x 55 mm
Hmotnost	105 gramů
Stabilizace obrazu	ne
Rozlišení LCD	115.000

6 PhotoModeler verze 6

Mezi nejrozšířenější digitální systémy pro průsekovou fotogrammetrii v České republice patří systémy PhotoModeler a RolleiMetric CDW. Pro diplomovou práci, tvorbu a výstupy z digitálního modelu objektu byl použit software PhotoModeler, konkrétně jeho verze 6.2.2.596.

Série produktů PhotoModeler kanadské softwarové firmy EOS Systems Inc. je určena pro vytváření a měření rovinných či prostorových modelů objektů z fotografických snímků. Je založena na principu průsekové fotogrammetrie. Využívá se převážně v architektuře, při rekonstrukci dopravních nehod, strojírenství, počítačové animace a archeologii. Výsledkem je 3D model, který můžeme exportovat do jiných programů: např. 3D DXF (.dxf), 2D DXF (.dxf), 3D Studio (.3ds), VRML 1.0 (.wrl), VRML 2.0 (.wrl), Wavefront (.obj), raw coordinates (.raw), IGES (.igs), OpenNURBS/Rhino (.3dm), Google Earth (.kmz, .kml), atd.

Minimální požadavky pro běh programu jsou v dnešní době zcela hravě splnitelné: Operační systém Microsoft Windows XP/2000 (novější řada Pro 6 podporuje i novější Microsoft Vista a 7), Pentium 800MHz, 128MB RAM, 100MB HDD, CD-ROM mechanika. Od verze Pro 5 obsahují funkci automatické kalibrace fotokomory („Calibrator“), která umožňuje celý projekt dostatečně urychlit a také funkci NURBS (umožňuje modelovat velké zakřivené plochy).

Photomodeler využívá k vytvoření tohoto modelu fotografií (digitální či převedené do digitální podoby), podporované formáty: TGA, TIGG, GIF, JPEG, WMF, WPG, PICT, IFF, PCX, DCX, BMP a DIP.

Program pracuje s body, hranami, křivkami, plochami a texturami ploch ve vrstvách. Textury se volí buď zadáním příslušné barvy (rychlá textura či kvalitní textura) nebo přímo z fotografií. Barvu lze přiřadit i hranám a křivkám. Program za pomoci speciálního numerického algoritmu na principu svazkového vyrovnání paprsků umožňuje vyrovnat skupinu konvergentních snímků. Základem je vypočítat prostorovou polohu bodů, hran a křivek za minimalizace chyb.

Prostředí programu je standardně v anglickém jazyce, ale i pro člověka na jiné jazykové vlně by neměla být práce s PhotoModelerem problémem.

7 Kalibrace fotokomory

Kalibrace systému snímků slouží k určení vlastností použitého fotografického přístroje a popisuje dříve popisované prvky vnitřní orientace. V podstatě lze kalibrační metody rozdělit na tři základní způsoby: laboratorní kalibrace, kalibrace pomocí testovacího pole a simultánní kalibrace.

Pro vlastní projekt byla zvolena kalibrace pomocí testovacího pole, při tomto způsobu kalibrace se snímkuje z několika stanovisek testovací pole se signalizovanými body tak, aby vlastní pole zaujímalo dostatečnou plochu na pořízených snímcích a osy záběrů jednotlivých snímků měly vhodnou konfiguraci pro protínání (konvergentní snímky). Signalizované body jsou body o známých objektových souřadnicích nebo jsou známy vzdálenosti mezi několika body testovacího pole [2].

7.1 Podmínky pro úspěšnou kalibraci v programu PhotoModeler

- Testovací pole by mělo zaplnit maximální plochu snímku
- Pozice komory by měla být od horizontálního směru odkloněna nejlépe o 45 stupňů
- Všechny snímky musí být pořízeny se stejnou ohniskovou fixací jako následně měřený objekt
- Během snímkování se nesmí fotoaparát vypnout
- Snímky musí mít dobře viditelný kontrast bílé a černé barvy
- Vzor musí být čistý, bez stínů, vhodné je si testovací pole obložit čistým papírem

7.2 Kalibrace neměřické fotokomory Olympus FE-230

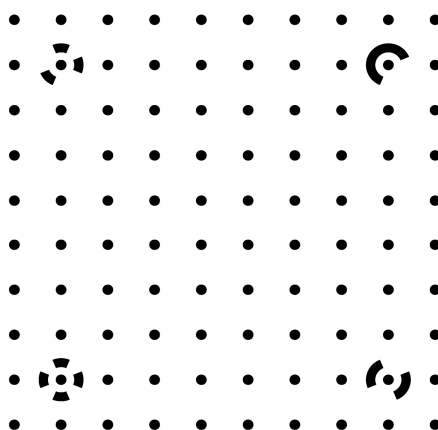
Pro kalibraci fotokomory Olympus bylo použito celkem šesti testovacích polí. Všechna tato pole byla určena pro automatickou kalibraci, která byla zavedena ve PhotoModeleru 5 (do té doby byla používána kalibrace ruční, která umožňovala korigovat některé parametry a také definovat plochu pro orientaci).

Všechny kalibrační projekty byly s ohledem na porovnání provedeny ve verzi 6.2.2.596.

Seznam použitých polí

➤ Pole na bázi verze 5

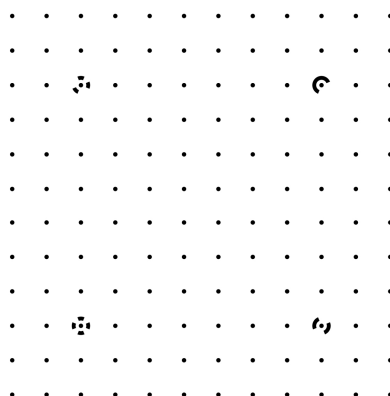
- ✓ Originál A4, který je součástí instalace, toto pole obsahuje 100 bodů (4 kontrolní)
- ✓ Převzorkovaná verze do formátu A3 v programu Adobe Photoshop 3
- ✓ Převzorkovaná verze do formátu A1 v programu Adobe Photoshop 3



Obr. 18 Testovací pole verze 5 se 4 kódovými cíli

➤ Pole na bázi verze 6

- ✓ Originál A1, který je součástí instalace, toto pole obsahuje 144 bodů (4 kontrolní)
- ✓ Zmenšená verze originálu do měřítka formátu A3
- ✓ Zmenšená verze originálu do měřítka formátu A4



Obr. 19 Testovací pole verze 6 se 4 kódovými cíli

Pro všechna pole bylo nafoceno 12 snímků, od horizontálního směru odkloněných o 45 stupňů, ze 4 stanovisek. Na každém stanovisku byly provedeny 3 snímky (normální, pootočený o 90 stupňů, pootočený o 270 stupňů). Ve PhotoModeleru se založil nový projekt pro kalibraci fotokomory, proběhl import snímků do projektu, spustila automatická kalibrace, uložil se celý projekt a parametry komory (ve formátu *.pmr pro projekt a *.cam pro parametry komory). PhotoModeler 6 má oproti starším verzím výhodu v tom, že není nutné zadávat údaje o fotokomoře. Program si je sám nalezne v registru EXIF.

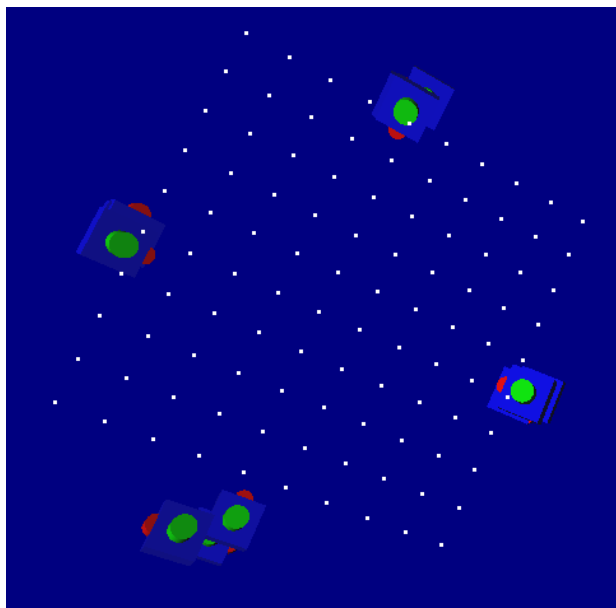
Pro zpracování modelu bylo nakonec zvoleno pole s nejmenší hodnotou maximální reziduální chyby, střední reziduální chyby a tzv. „Total Error“, který znázorňuje celkovou chybu procesu - bylo to pole z verze 5 formátu A1. Audit potencionální přesnosti projektu byl u tohoto pole, stejně jako u všech polí verze 5 na nejvyšší možné úrovni 5. Všechna pole verze 6 (nejlepšího výsledku dosáhl formát A1) mají audit o stupeň nižší. Obecně náročnější bylo snímkování polí verze 6. Body mají mnohem menší průměr, což může být zejména u rozměrově malých polí při zpracování problémem.

7.3 Kontrola výsledků kalibrace

V uživatelské příručce programu PhotoModeler 6 jsou uvedeny doporučené údaje pro zkontrolování úspěšnosti kalibrace (tab.č.2) [14]. Poloha kamer při pořizování snímků pro kalibraci je znázorněna na obr. 20. Výsledky kalibrace jsou v uvedeny v příloze č.2, snímky a zprávy o procesu v příloze č.1.

Tab.č.2 Kontrola kalibrace

Vlastnost	Fotokomora OLYMPUS FE-230
V dialogu výsledků kontroly „Audit dialog“ je předem předpovězena úspěšnost výpočtu (1-nejhorší, 5-nejlepší).	5
Počet snímků (v pořádku/celkem)	12/12
Průměrné pokrytí plochy body	77%
Hodnota „Total Error“ po procesu musí být co nejnižší	0.808
Reziduální chyba by měla být pod 1 pixel	0.396 pix na bodě 11 u fota 10
Střední kvadratická chyba (Overall RMS) by měla být pod 0,5 pixel	0.103 pix



Obr. 20 Poloha kamer při kalibraci

7.4 Zhodnocení výsledků kalibrace

Kvalita kalibrace resp. kalibračních parametrů je velice důležitá s ohledem na nejpřesnější vyhotovení prostorového modelu.

Protože byla použita kalibrace automatická (body kalibračních polí byly označovány automaticky sub-pixelovým režimem), vyloučila se tím možná chyba při určování měření středů testovacího pole zaviněná lidským faktorem.

8 ČEZ Aréna

ČEZ Aréna (dříve Palác kultury a sportu) – jedna z dominant Ostravy – byla dokončena a slavnostně otevřena v roce 1986. Na přelomu let 2003 a 2004 prošla rekonstrukcí a modernizací a od roku 2004 nese název ČEZ Aréna. Hala je domácím prostředím extraligového mužstva HC VÍTKOVICE STEEL a za dobu své existence se stala významným sportovně-kulturním centrem.

Moderní víceúčelová hala splňuje i nejpřísnější nároky pořadatelů a návštěvníků. Sportovní a společenské zařízení dovoluje pořádání nejobtížnějších podniků od sportovních utkání až po velké koncerty. ČEZ Aréna se může změnit podle přání organizátorů do 46 variant nejpestřejšího provedení. Během několika hodin se palác promění z moderní ledové plochy pro hokej nebo lední revue v ideální prostředí sálových sportů (dva tenisové dvorce, palubovka pro basketbalisty, volejbalisty, futsal, kolovou), koncertní sál s využitím plochy jako hlediště. Rovněž je ideálním prostředím pro velké veletržní akce či firemní akce [12].

8.1 Statutární město Ostrava

Metropole Moravskoslezského kraje je rozlohou třetím největším městem republiky a třetím největším počtem obyvatel.

Má výhodnou strategickou polohu - nachází se 10 kilometrů jižně od státní hranice s Polskem a 50 kilometrů západně od hranice se Slovenskem. Od hlavního města Prahy je vzdálena 360 km, 170 km od Brna, 90 km od polských Katovic, 310 km od Vídně. Městem protékají řeky Odra, Ostravice, Opava a Lučina [12].

Základní údaje

- ✓ Rozloha: 214 km²
- ✓ Počet městských obvodů: 23
- ✓ Počet obyvatel k 31.12.2009: 314 467
- ✓ Hustota osídlení: 1500 obyvatel/km²
- ✓ Průměrná roční teplota: + 8 °C



Obr. 21 Znak města Ostravy

8.2 Výpis o objektu z KN

Vlastnické právo

VÍTKOVICE ARÉNA, a.s.
Ruská 3077/135
700 30 Ostrava, Zábřeh

Informace o budově

č.p.: 3077
Část obce: Zábřeh
Číslo LV: 4985
Typ budovy: budova s číslem popisným
Způsob využití: objekt občanské vybavenosti
Katastrální území: Zábřeh nad Odrou 714305
Na parcele: st. 4761/3 , st. 4761/1

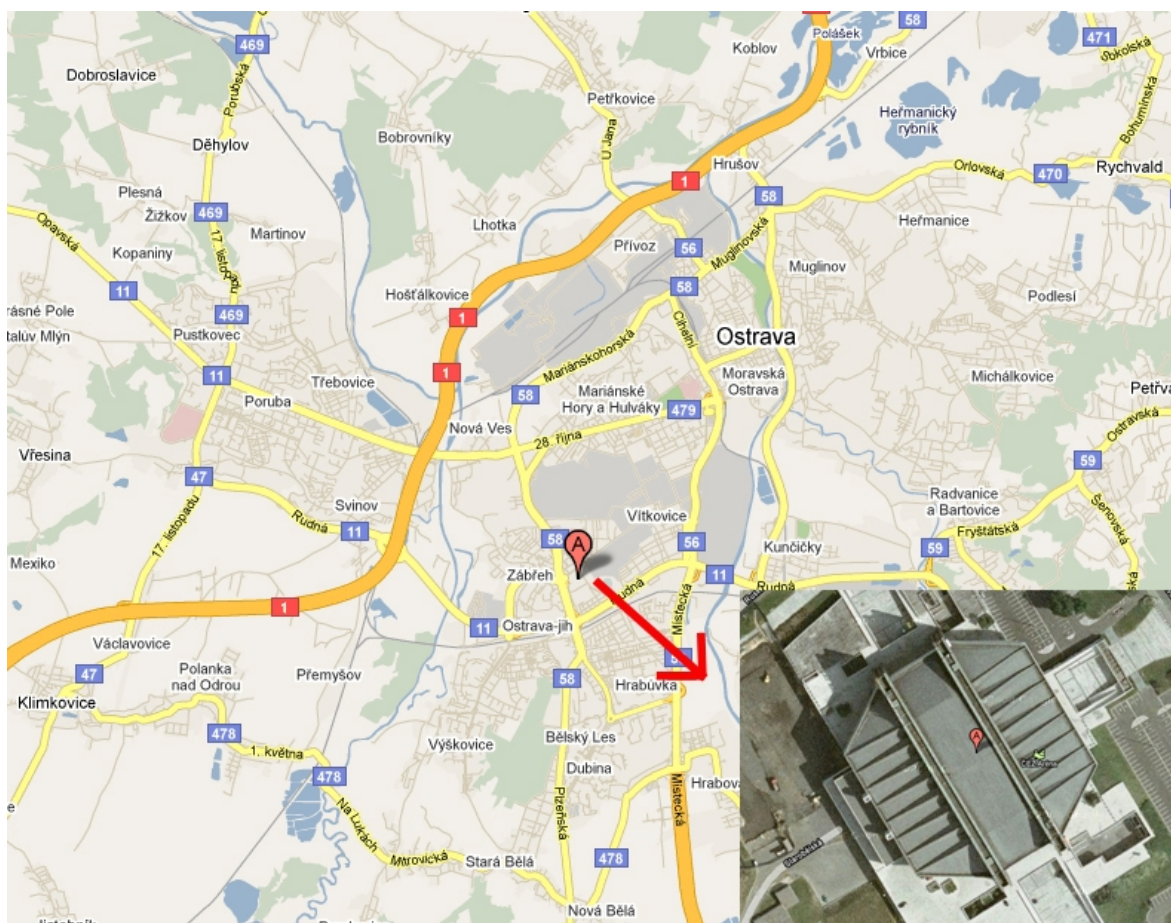
Informace o parcelách

Parcelní číslo: st. 4761/1
Výměra [m²]: 26055
Katastrální území: Zábřeh nad Odrou 714305
Číslo LV: 4985
Typ parcely: Parcela katastru nemovitostí
Mapový list: DKM
Určení výměry: Ze souřadnic v S-JTSK
Druh pozemku: zastavěná plocha a nádvoří

Parcelní číslo: st. 4761/3
Výměra [m²]: 296
Katastrální území: Zábřeh nad Odrou 714305
Číslo LV: 4985
Typ parcely: Parcela katastru nemovitostí
Mapový list: DKM
Určení výměry: Ze souřadnic v S-JTSK
Druh pozemku: zastavěná plocha a nádvoří

8.3 Poloha objektu – graficky

Aréna je pro návštěvníky dobře dostupná ze všech směrů (po dálnici D1 z Prahy či Brna, z Polska, ze Slovenska).



Obr. 22 Poloha ČEZ Arény

8.4 Informační servis pro návštěvníky

Doprava

- **autem** – ze všech příjezdových směrů podrobné značení trasy, hlavní tepny ze silnic 1.třídy č.11 (Rudná), č.58 (Plzeňská); ulice Ruská z centra Ostravy, ulice Výškovická z O-Jih
- **vlakem** – nejbližše se nachází Ostrava-Vítkovice, stejně jako v případě Ostravy-Svinov a Hl.nádraží je dále třeba pokračovat MHD
- **autobusem** – Ústřední autobusové nádraží, podobně jako u vlakového spojení je nutno využít MHD

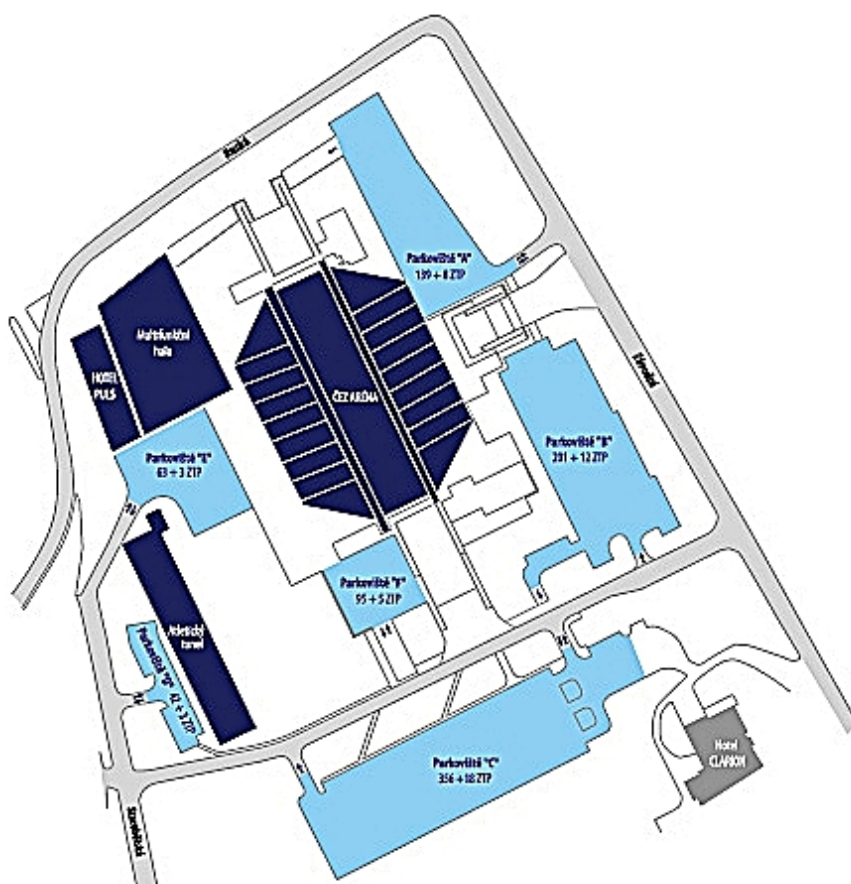
- **MHD** - cílová zastávka SPORT ARÉNA, Horní, Tylova, Palkovského či Ředitelství Vítovic

Parkování

Na 6 parkovištích (označenými abecedně A-F) je k dispozici celkem 945 míst, z toho 49 pro ZTP. Ostatní možnosti parkování - parkoviště u Městského stadionu, při některých akcích také v areálu Městského stadionu, areálu VÍTKOVICE, a.s. u Nádraží Vítkovice, apod. [12].

Jednotlivé rozmístění míst:

- ✓ Parkoviště A – 139 + 8 ZTP
- ✓ Parkoviště B – 201 + 12 ZTP
- ✓ Parkoviště C – 356 + 18 ZTP
- ✓ Parkoviště D – 42 + 3 ZTP
- ✓ Parkoviště E – 63 + 3 ZTP
- ✓ Parkoviště F – 95 + 5 ZTP



Obr. 23 Schéma rozmístění parkovišť [15]

Vstupy a pokladny

Při největším vytížení je možno využít až 20 pokladen (v praxi se tato situace ale nevyužívá), pro vstup je připraveno 14 turniketů, vybavených čtecím zařízením čárových kódů.

- ✓ Vstup od Hotelu Atom - 5 pokladen, 4 turnikety
- ✓ Vstup od ul. Závodní - 10 pokladen, 6 turniketů
- ✓ Vstup od ul. Ruské - 5 pokladen, 4 turnikety
- ✓ Vstup pro VIP do skyboxů - parkoviště "F", poté kolem recepce a jedním z výtahů do 5. Patra

Plán sedadel

Maximální možná kapacita míst v ČEZ Aréně je 9 551, závisí na konkrétní konfiguraci haly, která se liší pro různé podniky. Většina diváků (9 128) se usadí v sektorech, 153 ve skyboxech a 270 diváků obsadí VIP sedadla.

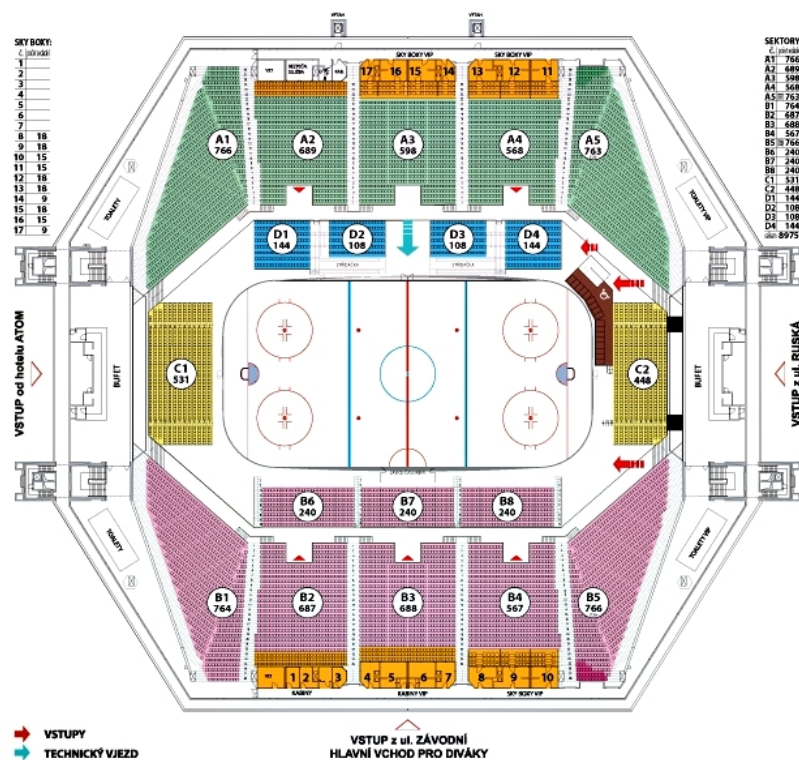
Rozmístění v jednotlivých sektorech (graficky viz obr. 24):

- | | |
|------------------------------|------------|
| ✓ A1 - 766 | ✓ B6 - 300 |
| ✓ A2 - 599 + 90 VIP sedadel | ✓ B7 - 300 |
| ✓ A3 - 98 + 51 ve skyboxech | ✓ B8 - 300 |
| ✓ A4 - 568 + 53 ve skyboxech | ✓ C1 - 534 |
| ✓ A5 - 763 | ✓ C2 - 532 |
| ✓ B1 - 764 | ✓ D1 - 144 |
| ✓ B2 - 597 + 90 VIP sedadel | ✓ D2 - 144 |
| ✓ B3 - 598 + 90 VIP sedadel | ✓ D3 - 144 |
| ✓ B4 - 567 + 51 ve skyboxech | ✓ D4 - 144 |
| ✓ B5 - 766 | |

Ostatní

- VIP a Skyboxy – všechny skyboxy i VIP kabiny jsou vybaveny televizemi a strukturovanou kabeláží s připojením na telefon, fax a internet. Skyboxů je celkem 10 s dohromady 153 místy. V hale se nachází 8 VIP kabin, které pojmu 270 návštěvníků.

- Bufety a restaurace – možnost stravování v hale je obrovská, ať je jedná o 10 bufetů ve vestibulu haly, 2 bufety na ochozu, restauraci v horním patře či VIP restauraci.
- Bezbariérový přístup - všechny vstupy i do vnitřního prostoru haly jsou bezbariérové, ve vestibulu se nachází bezbariérové sociální zařízení. Nájezdová rampa s kapacitou 17 osob se nachází před tribunou C2. V zázemí haly jsou také umělecké i sportovní šatny přizpůsobené tělesně postiženým.
- Prostory pro novináře - nové moderní tiskové centrum s kapacitou cca. 200 míst, které je mobilní přepážkou možno rozdělit na dvě samostatné místnosti.
- Šatny – všech 20 šaten má své vlastní sociální zařízení. 13 šaten je určeno pro hokejový tým HC Vítkovice Steel, 2 šatny pro rozhodčí jejich duelů a 5 šaten pro umělce
- Ostatní prostory – 2 sušárny, 5 skladů, 10 místností pro trenéry, 4 místnosti pro maséry, 4 ošetřovny, 2 pro dopingovou kontrolu, posilovna a baletní sál



Obr. 24 Schéma rozmístění sedadel (varianta s ledem) [15]

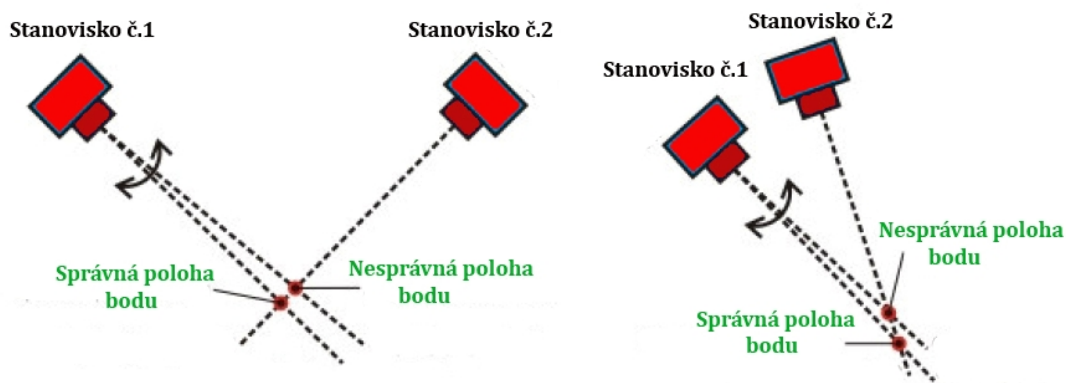
9 Fotodokumentace prostorového objektu

9.1 Zásady pro úspěšné vypracování fotodokumentace

Základními předpoklady pro vyhotovení fotodokumentace jsou neměnnost prvků vnitřní orientace fotokomory a současně pořízení dostatečného počtu snímků s vhodnou konfigurací.

Zachování prvků vnitřní orientace – tyto prvky musí být po dobu snímkování objektu neměnné, totéž platí i pro snímkování testovacího pole. Nesmí se používat zaostření nebo zoom, toto pravidlo se musí nutně dodržet!

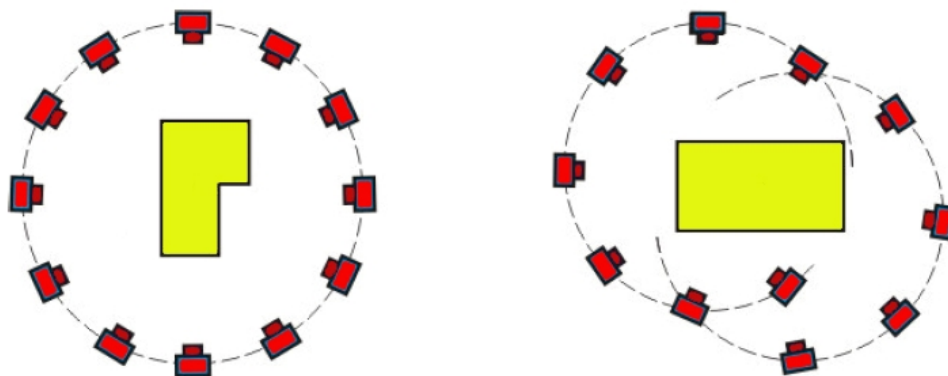
Konfigurace snímků – aby bylo možné vyhodnotit prostorový model musí snímky pokrývat celý objekt, tzn. s maximálním překryvem. Stejné body vidíme tím pádem na více snímcích, nejlépe na třech a více. Snímky by měly být co nejvíce konvergentní (úhel protnutí 90° , obr. 25 vlevo), s nižší přesností je možno určit body s minimálním úhlem 10° (obr. 25 vpravo), avšak doporučeno je rozmezí $30-90^\circ$.



Obr. 25 Chybná poloha bodu

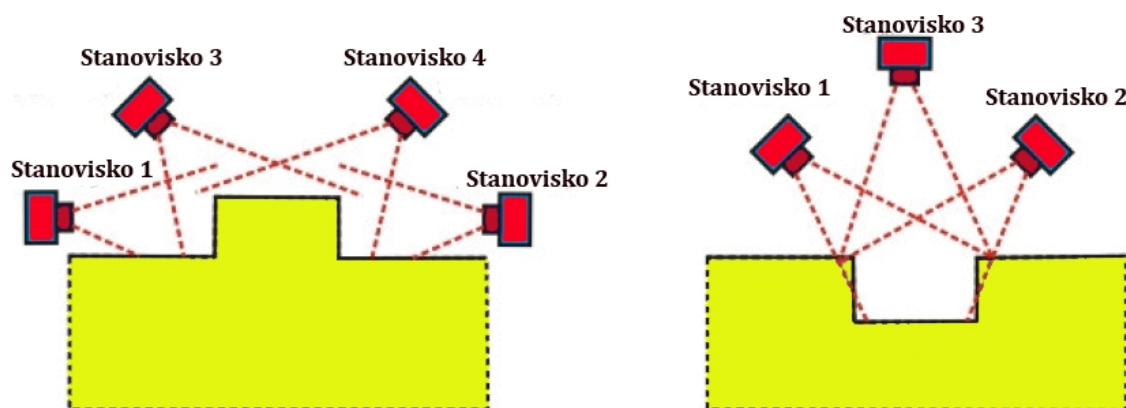
Snímky by měly být pořízeny za stejného osvětlení (z důvodu přiřazení textur), nejlépe pokud je pod mrakem. Je výhodné udělat maximální počet snímků a z nich poté využít jen některé pro tvorbu 3D objektu.

Pokud to dovolují podmínky je výhodné, pro objekty pravidelných tvarů, použít tzv. „metodu kruhu“.



Obr. 26 Metoda kruhu

V reálných podmínkách je největším problémem fakt, že velká většina objektů obsahuje výklenky, zářezy apod., situaci by řešilo dodatečné stanoviště shora. Tato možnost je ovšem málokdy realizovatelná – vyžaduje přítomnost jiné vyšší budovy či např. zapůjčení zvedáku. Každý prostorový bod, který vyhodnocujeme, musí být zachycen alespoň ze dvou stanovisek. Proto se pořizuje i nadbytečné množství snímků.

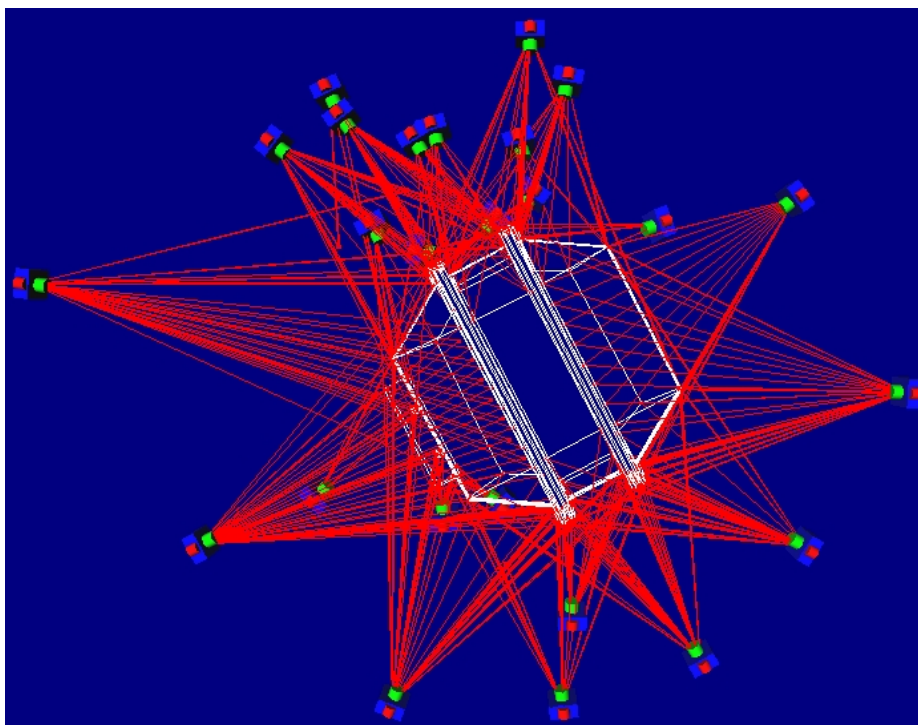


Obr. 27 Konfigurace snímků – výklenek, zářez

9.2 Tvorba fotodokumentace objektu

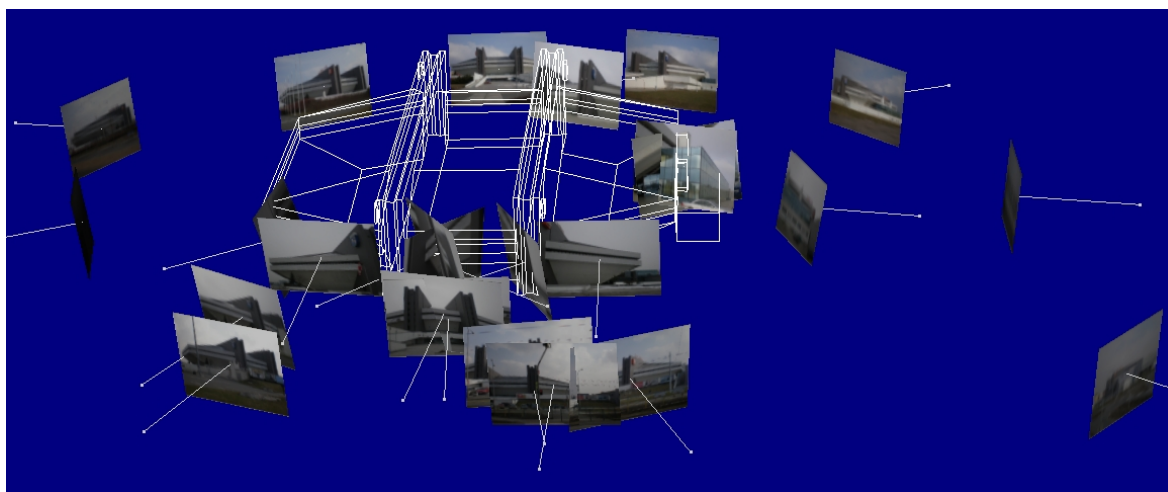
Po rekognoskaci terénu bylo rozhodnuto pořídit snímky ve dvou řadách, pracovně nazvané „vnější“ a „vnitřní“. Vytíženost objektu nedovolovala případné dodatečné nafocení, tudíž bylo celkem pořízeno velké množství nadbytečných snímků (celkově 270) za relativně výhodných povětrnostních podmínek pro fotodokumentaci, tj. bylo pod mrakem. Pro vlastní zpracování 3D modelu bylo toto

pole sníženo na 100 snímků, z nichž bylo nakonec použito 26 snímků. Na obr. 28 je vidět rozmístění kamer včetně paprsků, směřujícím k jednotlivým bodům.



Obr. 28 Postavení kamer při snímkování

Vyšší části objektu byly nafoceny z konstantní vzdálenosti a tvoří obvod hal. Nižší části musely být vzhledem k nedostupnosti (nulová viditelnost přes nájezdy a ochozy) nafoceny z větší blízkosti. Na objektu se nachází velké množství výklenků či zářezů, tudíž bylo nutné brát ohled i na tento fakt.



Obr. 29 Jednotlivé snímky vložené do stanovisek

10 Geodetické zaměření objektu

Při geodetickém zaměření bylo pro určení polohopisu, potřeby zjištění přesnosti modelu a stanovení rozměru objektu použito celkem 25 bodů, které byly rozmístěny pravidelně na objektu.

Pro určení souřadnic všech geodetických bodů byla kolem objektu stabilizována síť polygonových bodů, byl zvolen uzavřený polygonový pořad v místní souřadnicové a výškové síti.

10.1 Použité přístroje a pomůcky

- 1 totální univerzální stanice Leica TCR 307
- 1 sada odrazných hranolů a třínožek Leica
- 3 stativy Leica
- 1 svinovací pásmo s mm dělením
- 8 kovových hřebů
- 1 kladivo

10.1.1 Parametry totální stanice Leica TCR 307

Pro účely diplomové práce byla institutem Geodézie a kartografie VŠB-TU Ostrava zapůjčena totální stanice Leica TCR 307 (obr. 30), podrobné parametry v tabulce č.3 [11].



Obr. 30 Leica TCR 307

Tab.č.3 Podrobné parametry totální stanice Leica TCR 307

Dalekohled	Zvětšení	30x
	Nejkratší vzdálenost záměry	1,7 m
	Zorné pole	1°30′
Měření úhlů	Jednotky	360° šedesátinné, 400 gon, 360 desetinné, 6400 mil, V%
	Přesnost odečítání	7″, 2 mgon
	Nejmenší zobrazovaná jednotka	0,0005 gon, 1″
Citlivost libely	Krabicová libela	6′/2 mm
	Elektronická libela	20″/2 mm
Laserová olovnice	Přesnost	0,8 mm/1,5 m
	Průměr laserové stopy	2,5 mm /1,5 m
Kompenzátor	Dvojosý, kapalinový	
	Rozsah urovnání	4′, (0,07 gon)
	Přesnost urovnání	2″, (0,7 mgon)
Napájení	Baterie	Ni+Mh
	Napětí	6V, 1800 mAh
	Externí napájení - Napětí	11,5V – 14V
Počet měření	Úhly	4 h
	Vzdálenost	1000
Teplotní rozsah	Provozní	-20°C až +50°C
Registrace	Vnitřní paměť - kapacita	256 kB = 4000 datových bloků nebo 7000 souřadnic

10.2 Postup zaměření

10.2.1 Rekognoskace terénu a příprava měření

Při rekognoskaci byly nejprve vybrány vhodné referenční body, ty se poté vyznačily na předem vytištěných fotografických náčrtech formátu A4, které byly pořízeny při prvním zhlédnutí objektu. Za referenční byly zvoleny body s přirozenou signalizací (rohy zdí a přechody kontrastu). Vyznačení referenčních bodů viz příloha č.3.

Následně byly stabilizovány kovovými hřebíky body uzavřeného polygonového pořadu.

10.2.2 Polohové a výškové zaměření polygonových bodů

Zaměření uzavřeného polygonového pořadu mezi body 4001-4006 bylo provedeno za použití totální stanice Leica TCR 307 v místním souřadnicovém a výškovém systému metodou trojpodstavcové soustavy.

Výšky strojů i cílů byly změřeny pomocí pásma, vodorovné úhly byly zaměřeny ve dvou skupinách ve dvou polohách dalekohledu, vodorovné vzdálenosti byly měřeny oboustranně elektronickým dálkoměrem na odrazné hranoly Leica, zenitové vzdálenosti byly také měřeny oboustranně. Všechny naměřené hodnoty byly ukládány do paměti přístroje.

Vyrovnané zápisníky jsou uvedeny v příloze č.4.

10.2.3 Polohové a výškové zaměření referenčních bodů

Po zaměření uzavřeného polygonového pořadu bylo přistoupeno k polohovému a výškovému zaměření referenčních bodů. Síť byla dále zhuštěna o dva body, které byly určeny rajónem (5001 a 5002). Výšky stroje i cílů byly opět měřeny pásmem. Poloha referenčních bodů byla určena metodou protínání vpřed z úhlů, vodorovné úhly byly měřeny ve dvou polohách dalekohledu, stejně jako zenitové vzdálenosti. Praktičtější polární metodu nebylo možné, vzhledem k velkým vzdálenostem stanovisek k objektu a tudíž omezené funkce laserového měření délek totální stanice Leica TCR 307, použít.

Vyrovnané zápisníky jsou uvedeny v příloze č.4.

10.3 Vyhodnocení výsledků měření

Pro zpracování naměřených výsledků byly použity programy Kokeš 8.61 a Groma 7. Všechny výsledky jsou zpracovány v místním souřadnicovém a výškovém systému.

Výchozím bodem pro určování souřadnic a trigonometrických výšek polygonového pořadu byl bod 4001 (1000; 5000; 100). Osa X byla položena do strany $S_{4001, 4006}$ se směrníkem $\sigma_{4001,4006}=0^g$.

Výpočet a vyrovnaní uzavřeného polygonového pořadu byl proveden v programu Kokeš 8.61 vyrovnaním MNČ (metodou nejmenších čtverců) jako oboustranně orientovaný a oboustranně připojený polygonový pořad.

Polohové souřadnice referenčních bodů (včetně bodů určených rajónem) byly vypočteny v programu Groma 7. V případě referenčních bodů, které byly zaměřeny ze tří stanovisek, byl brán průměr souřadnic těchto bodů.

Výšky všech bodů byly určeny v programu Groma 7.

Všechny vypočtené souřadnice bodů polygonu, bodů určených rajónem a referenčních bodů jsou uvedeny v příloze č.5.

Situace v měřítku 1:2 000 je také součástí přílohy č.5.

11 Tvorba prostorového modelu

Prostorový model je obecně soubor vzájemně spojených 3D bodů, linií, hran, křivek, válců a ploch. Každý trojrozměrný bod má souřadnice karteziánského systému X, Y a Z.

11.1 Postup tvorby modelu

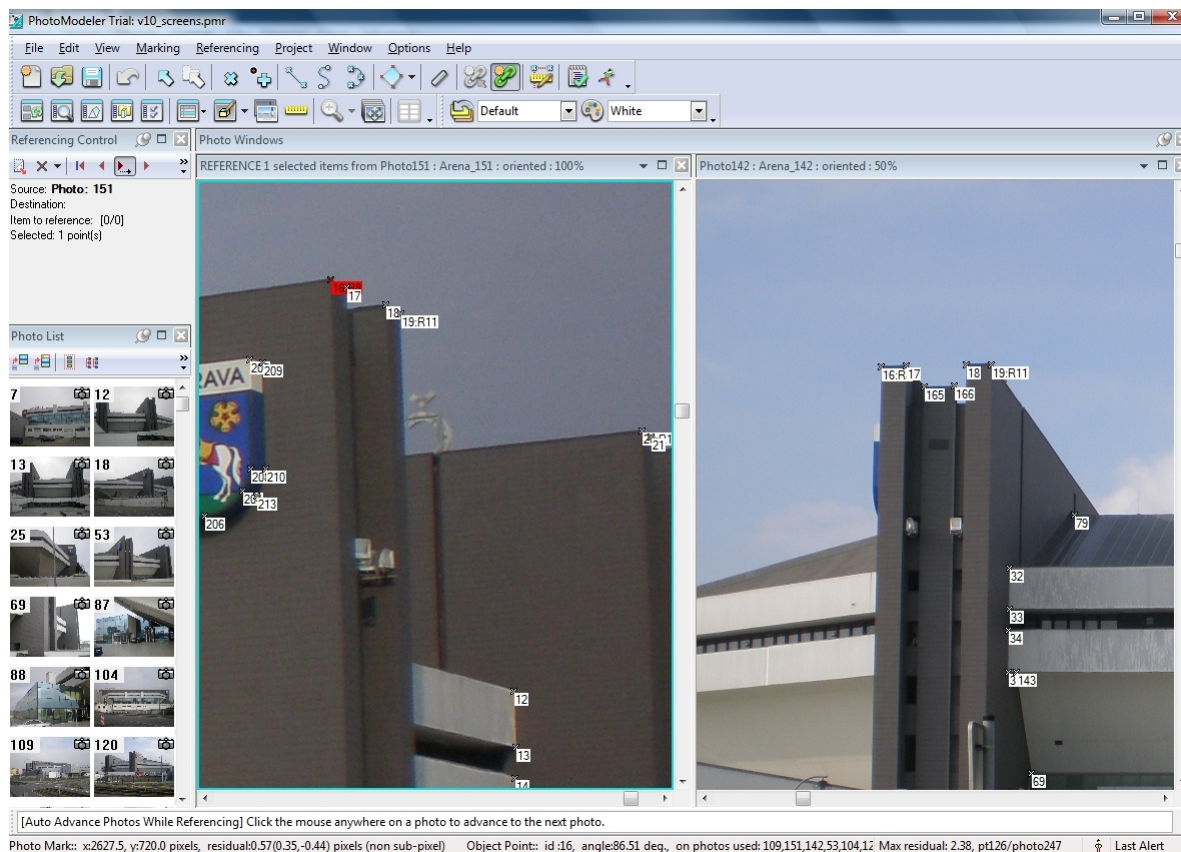
Samotná tvorba se skládá z těchto hlavních částí:

- 1) Založení standardního projektu
- 2) Nadefinování parametrů komory (načtení souboru *.cam)
- 3) Import snímků
- 4) Měření bodů
- 5) Referencování bodů
- 6) Výpočet modelu v obecné poloze
- 7) Přidání dalších snímků do projektu, opět měření, referencování
- 8) Tvorba linií, křivek
- 9) Určení měřítka
- 10) Vložení textur
- 11) Export 3D dat do formátu VRML, Google Earth, výstup protokolů výpočtu

Nejprve byly snímky z digitálního fotoaparátu překopírovány přímo na pevný disk počítače, kde byla vytvořena nová složka. Následně byl v programu PhotoModeler 6 vytvořen nový standardní projekt, pro tvorbu 3D modelu byla použita kalibrace testovacího pole formátu A1 z verze 5 (100 bodů).

Po importování snímků došlo k měření u prvních dvou fotografií, následně byly manuálně referencovány body, tj. určení shodné polohy jednoho bodu v prostoru na obou snímcích (obr. 31).

Pomocí klávesové zkratky F5 byl spuštěn proces svazkového vyrovnaní paprsků, kdy došlo k orientaci obou snímků (je zapotřebí mít zreferencováno alespoň 6 bodů neorientovaného snímku) a byly určeny prvky vnější orientace. Následně proběhla globální optimalizace, chyby na všech měřených bodech jsou minimalizovány a jsou odstraněny chyby v pozicích a natočení kamer.

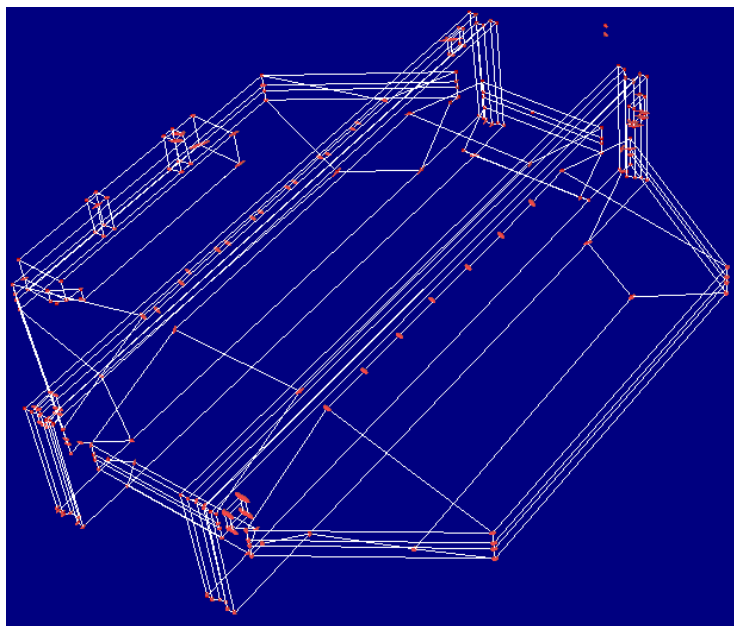


Obr. 31 Referencování snímků v prostředí verze 6

Již zreferencované body je možné zobrazit v okně 3D prohlížeče pomocí klávesové zkratky F7, kde je možno zcela přesvědčivě odhalit hrubé chyby. K zobrazení bodů je možné si zobrazit i jejich pravděpodobné prostorové odchylky, které jsou vidět na obr. 32 (červenou barvou). Největší byly u bodů, které tvoří trojrozměrná loga na pilířích objektu (znak města Ostravy a logo ČEZ).

Stejný proces referencování nastává i s probíhajícími dalšími snímky až do úplného vyhotovení celého modelu. Je vhodné postupovat od hrubé konstrukce stavby k detailům, od bodů, přes linie, křivky až po plochy.

V případě tvorby ČEZ Arény byly tedy nejprve referencovány snímky tzv. „vnější“ (vzdálenější), byla získána hrubá konstrukce. Poté došlo na snímky „vnitřní“ (pořízené z ochozu arény) a byly přidány detaily. Rozměr objektu, převýšení, různé překážky, nájezdy, porost apod. zapříčil fakt, že některé body bylo na jedné z fotografií nutné odhadnout přes „překážku“, což se mohlo projevit na výsledné přesnosti modelu.



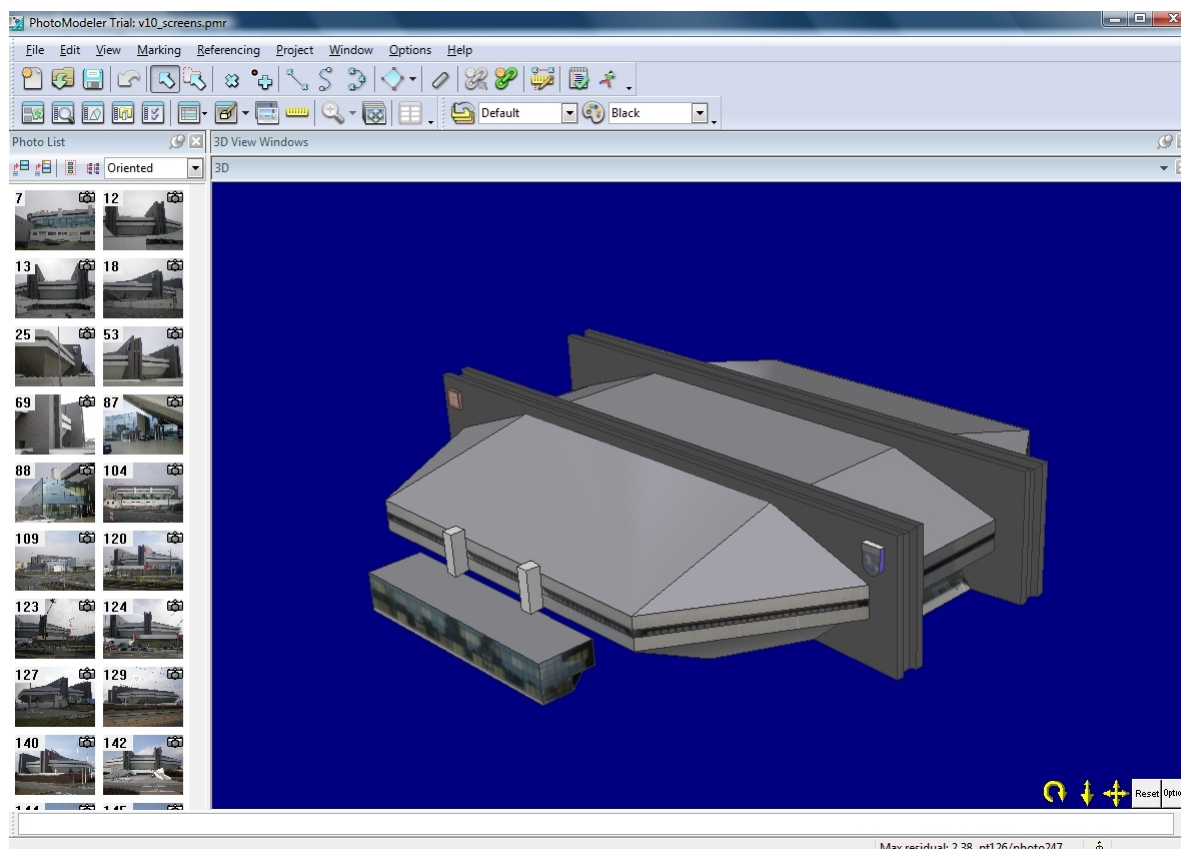
Obr. 32 Zobrazení pravděpodobných prostorových odchylek

Po vytvoření všech prostorových bodů a jejich spojení liniemi a křivkami bylo dále přistoupeno k definování parametrů vyhodnoceného modelu. V této fázi byl projekt bezrozměrný, jednotkami souřadnic bodů byly pixely.

- Měřítko modelu bylo nastaveno dle délky mezi referenčními body R1 (43) a R8 (16)
- Počátek souřadnic byl vložen do bodu 164 (souřadnice 0, 0, 0 m)
- Rotace modelu byla definována kolem osy Y body 84 a 19, kolem osy Z body 12 a 32

Následně opět proběhlo svazkové vyrovnaní a souřadnice bodů (i vzdálenosti) byly uvedeny již v metrické soustavě.

Na závěr proběhlo potažení objektu texturami, vzhledem k nemožnosti pořít snímky z větší výšky jsou střecha a pilíře potaženy texturami s jejich barevným odstínem. Zbytek objektu je potažen reálnými fototexturami, vytvořenými z fotografií.



Obr. 33 Obráz 3D modelu ČEZ Arény v prostředí programu PhotoModeler 6

11.2 Kvalita modelu

Mezi faktory ovlivňující výslednou kvalitu modelu patří:

- Rozlišení snímků a jejich kvalita
- Kvalita výsledků kalibrace
- Přesnosti měření jednotlivých bodů na fotografiích
- Počet snímků, na nichž byly jednotlivé body měřeny
- Orientace kamer
- Úhel protnutí paprsků kamer na bodech

Ve výpočetním protokolu celého modelu nebyla uvedena žádná hrubá chyba, hodnota ukazující kvalitu modelu prostřednictvím „Total Error“ byla 0,822, doporučená „mezni“ hodnota je 1,000. Celý výpočetní protokol je uveden v příloze č.1.

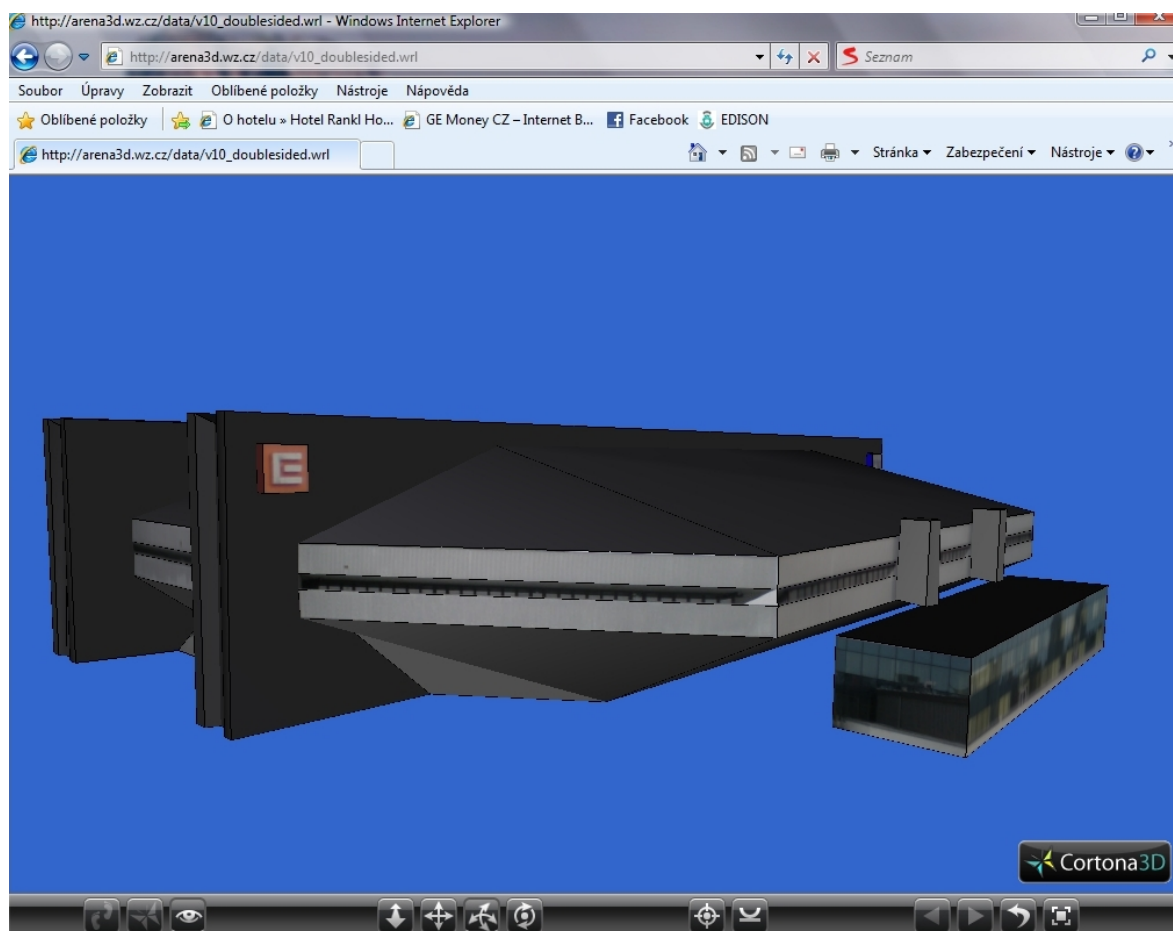
11.3 Export modelu

Výsledný model je velice často nutno exportovat do programů přístupnějších než je software firmy EOS. Byly provedeny dva základní exporty.

11.3.1 Export do VRML

3D model haly byl nejprve exportován do formátu VRML 2.0, který slouží k prohlížení modelu přímo na internetových stránkách v internetovém prohlížeči.

Pro prohlížení objektu ve formátu VRML 2.0 je nutné mít nainstalovaný program Cortona 3D, který je zdarma ke stažení na oficiálních stránkách výrobce ParallelGraphics [13]. Export proběhl bez bodů a popisu čísel bodů. Textury se exportovaly v podobě souborů *.jpg, které musí poté zůstat jako součást adresáře. V okně je možné si objekt natáčet stejně jako v „3D Viewru“ ve PhotoModeleru. Výstup je součástí přílohy č.1.

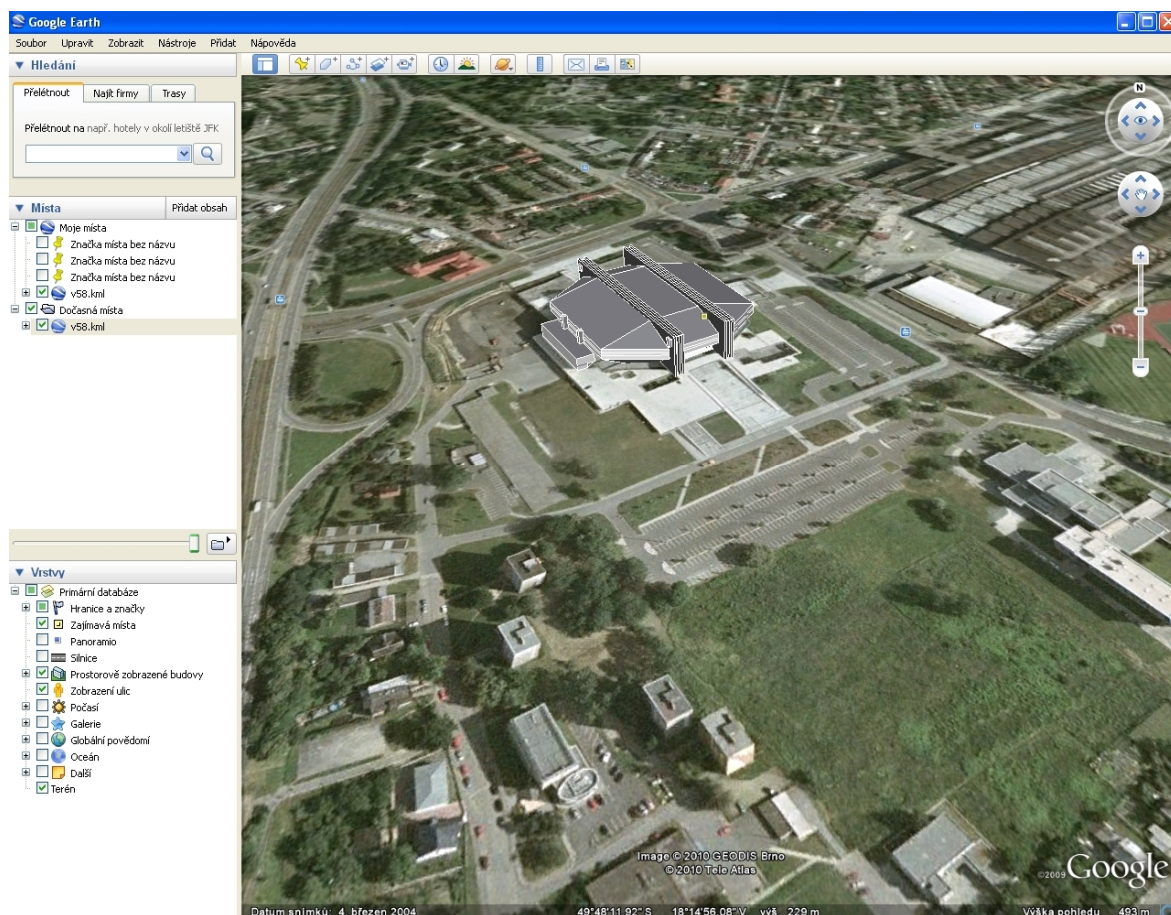


Obr. 34 Obraz 3D modelu v prostředí internetového prohlížeče IE8 (VRML 2)

11.3.2 Export do Google Earth

3D model byl dále exportován do formátu KML, který je možné otevřít v programu Google Earth, ten je k dispozici volně ke stažení. Program je také součástí přílohy č.1, umožňuje přeletět na libovolné místo na Zemi, zobrazit satelitní snímky, mapy, terén, 3D budovy, vzdálené galaxie ve vesmíru i oceánské příkopy na mořském dně.

Transformace proběhla pomocí 3 identických bodů, bylo nutné zadat zeměpisnou šířku, zeměpisnou délku a nadmořskou výšku každého bodu. Nevýhodou tohoto atraktivního výstupu je snad jen datum pořízení leteckého snímku dané oblasti poskytovatelem, který je v tomto případě 4.3.2004. Terén tudíž nemusí být vystižen dokonale věrně. Výstup je součástí přílohy č.1.



Obr. 35 Obráz 3D modelu v prostředí programu Google Earth

11.4 Internetová prezentace

Tvorba internetových stránek byla provedena v programech KompoZer 0.7 a Adobe Photoshop 3. KompoZer je nástupcem „legendárního“ NVU, který byl také zaopatřen Mozillou.

Nejprve byly ve Photoshopu vytvořeny grafické šablony a poté do nich byl doplněn text v KompoZeru. Součástí stránek jsou i odkazy na výstupy ve formátu VRML či prezentace v Google Earth. Vytvořené www stránky byly nakonec umístěny na server <http://www.webzdarma.cz>.

Konkrétní přístupový odkaz na stránky 3D modelu ČEZ Arény je následující: <http://arena3d.wz.cz>.



Obr. 36 Náhled úvodní webové stránky (prostředí OS Vista, IE 8)

11.5 Porovnání vzdáleností

Na závěr došlo k vyhodnocení přesnosti modelu, resp. porovnání vzdáleností referenčních bodů odečtených z modelu ve PhotoModeleru a vzdáleností referenčních bodů, které byly v terénu zaměřeny geodeticky. Pro vyhodnocení

bylo použito 23 délek, kvalita přesnosti byla testována na všech 6 kalibračních polích.

Na přesnost modelu má vliv zejména chyba manuální identifikace bodů, chybné určení prvků vnitřní orientace, rozlišení jednotlivých snímků a jejich konfigurace. Z výsledků je patrné, že nejlepší hodnota střední chyby v rozdílu vzdáleností je u pole verze 5 formátu A1 – hodnota činí 0,0477 m. Maximální rozdíl můžeme nalézt u pole verze 6 formátu A3 – 0,111 m, minimální u pole verze 6 formátu A1, která je v řádech desetin milimetrů nulová na vzdálenost cca. 116 metrů.

Průměrná hodnota (střední hodnota alias medián) se u všech polí pohybuje okolo hodnoty 0,04 m. Tabulky a grafický přehled srovnání jednotlivých kalibračních polí jsou uvedeny v příloze č.6.

12 Závěr

V diplomové práci byl pomocí programu PhotoModeler 6 vytvořen a zdokumentován objekt ČEZ Aréna v Ostravě-Vítkovicích.

ČEZ Aréna (dříve Palác kultury a sportu) je jednou z dominant statutárního města Ostrava, což je spolu s možností využití prostorového modelu (prezentace, vizualizace, reklamní účely, možná aplikace při rekonstrukci) důvod, proč jsem si vybral právě tento objekt.

Základem vytvoření prostorového modelu je kvalitní kalibrace fotokomory. Z šesti kalibračních protokolů v programu PhotoModeler pro digitální fotokomoru Olympus FE-230 byl nakonec pro samotnou tvorbu prostorového modelu vybrán ten, který byl proveden na testovacím poli verze 5 formátu A1. Tím byly přesně určeny vnitřní prvky fotoaparátu. Kalibrace není jediným kritériem přesnosti modelu, dále se jedná také o rozlišení, konfiguraci snímků a v neposlední řadě o pečlivém měření prvků na snímcích.

Vzhledem k vytíženosti arény bylo provedeno nadbytečné množství snímků (270), následně byly zredukovány na 100 a pro konečnou tvorbu modelu jich bylo orientováno 26.

Prostorový model arény byl vytvořen z 236 bodů, 307 linií, 9 křivek a 120 ploch. Střecha a pilíře jsou pokryty texturami v barevném odstínu, zbytek objektu je potažen reálnými fototexturami.

Pro určení měřítka a zjištění přesnosti modelu byl objekt geodeticky zaměřen metodou protínáním vpřed z úhlů. Bylo určeno 25 referenčních bodů, střední hodnota alias medián se u všech kalibračních polí pohybovala okolo hodnoty 40 mm.

Export 3D modelu do formátu VRML a do programu Google Earth zpřístupní model nejširšímu spektru obyvatel, požadavkem je jen internetové připojení a software, který je volně ke stažení.

Model, informační data k aréně a další údaje o diplomové práci jsou k dispozici na internetových stránkách <http://arena3d.wz.cz>, které jsem k tomu účelu zřídil.

13 Použitá literatura

- [1] BÖHM J.: Fotogrammetrie, učební texty, Ostrava 2002
- [2] LFGM, ČVUT Praha - <http://lfgm.fsv.cvut.cz/>
- [3] HANZL V.: Fotogrammetrie I, VUT, Brno 2001
- [4] HODAČ J. - <http://lfgm.fsv.cvut.cz/?lang=cz&zal=131&cap=>
- [5] [http://www.olympus.cz/consumer/29 FE-230 Specifications.htm](http://www.olympus.cz/consumer/29_FE-230_Specifications.htm)
- [6] <http://www.fotografovani.cz/db/srovnej.php?m=614&w=g>
- [7] MAPY GOOGLE – <http://maps.google.cz>
- [8] PAVELKA K.: Fotogrammetrie 10, ČVUT, Praha 1998
- [9] PAVELKA K.: Fotogrammetrie 20, ČVUT, Praha 1998
- [10] PAVELKA K.: Fotogrammetrie 30 – Digitální metody, ČVUT, Praha 1998
- [11] SCHENK J.: Elektronický tachymetr TCR 307 – učební text pro předmět Speciální geodézie, Ostrava 2001
- [12] Statutární město Ostrava – oficiální portál – <http://www.ostrava.cz>
- [13] Parallel Graphics - <http://www.parallelgraphics.com/products/>
- [14] User's guide: PhotoModeler 6
- [15] Vítkovice aréna, a.s. – <http://www.vitkovice-arena.cz>

14 Seznam obrázků

Obr. 1 Fotogrammetrický plán Vyšehradské stráně [1]	3
Obr. 2 Vývoj vyhodnocovacích metod v čase [2].....	7
Obr. 3 Znázornění výstupních dat [2]	7
Obr. 4 Princip průsekové fotogrammetrie [4].....	8
Obr. 5 Schéma snímkových souřadnic [4].....	10
Obr. 6 Definice prvků vnitřní orientace [4].....	12
Obr. 7 Podobnostní transformace	13
Obr. 8 Afinity transformace	13
Obr. 9 Kolineární transformace	14
Obr. 10 Ideální středové promítání.....	16
Obr. 11 Zobrazení objektivem.....	17
Obr. 12 Vztah ohniskové vzdálenosti a zorného úhlu objektivu	19
Obr. 13 Sférická vada	19
Obr. 14 Chromatická vada	20
Obr. 15 Astigmatismus	21
Obr. 16 Koma.....	21
Obr. 17 Olympus FE-230	23
Obr. 18 Testovací pole verze 5 se 4 kódovými cíli	27
Obr. 19 Testovací pole verze 6 se 4 kódovými cíli	27
Obr. 20 Poloha kamer při kalibraci	29
Obr. 21 Znak města Ostravy	31
Obr. 22 Poloha ČEZ Arény	32
Obr. 23 Schéma rozmístění parkovišť [15].....	33
Obr. 24 Schéma rozmístění sedadel (varianta s ledem) [15]	35
Obr. 25 Chybná poloha bodu	36
Obr. 26 Metoda kruhu	37
Obr. 27 Konfigurace snímků – výklenek, zářez.....	37
Obr. 28 Postavení kamer při snímání	38
Obr. 29 Jednotlivé snímky vložené do stanovisek.....	38
Obr. 30 Leica TCR 307	39
Obr. 31 Referencování snímků v prostředí verze 6.....	44
Obr. 32 Zobrazení pravděpodobných prostorových odchylek	45
Obr. 33 Obrázek 3D modelu ČEZ Arény v prostředí programu PhotoModeler 6	46
Obr. 34 Obrázek 3D modelu v prostředí internetového prohlížeče IE8 (VRML 2).....	47
Obr. 35 Obrázek 3D modelu v prostředí programu Google Earth.....	48
Obr. 36 Náhled úvodní webové stránky (prostředí OS Vista, IE 8)	49

15 Seznam tabulek

Tab.č.1 Podrobné parametry fotokomory Olympus FE-230	24
Tab.č.2 Kontrola kalibrace	28
Tab.č.3 Podrobné parametry totální stanice Leica TCR 307	40

16 Seznam příloh

Příloha č.1: Nosič dat DVD

Příloha č.2: Kalibrační parametry fotokomory

Příloha č.3: Vyznačení referenčních bodů na snímcích

Příloha č.4: Geodetické zaměření

Příloha č.5: Vyhodnocení geodetického zaměření

Příloha č.6: Porovnání vzdáleností

Příloha č.7: Kalibrační protokoly Leica TCR 307